

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Metodologias de Monitorização de Consumos

Jorge Miguel Vidal Carvalho

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. José Rui da Rocha Pinto Ferreira

Co-orientador: Prof. Luís Filipe Caeiro Castanheira

24 de Outubro de 2013

Resumo

Com a crescente necessidade de fazer uma boa racionalização e gestão de energia e recursos, sistemas que conseguem fazer uma monitorização eficaz tornam-se uma ótima ferramenta para este efeito. Será assim adotado para um pequeno setor residencial de Vila Nova de Gaia um sistema que permite fazer a gestão dos consumos e assim conseguir-se o aumento da eficiência energética e consequente redução de consumos e custos. No que concerne à eficiência em edifícios, de habitação ou de serviços, esta pode ser aumentada recorrendo apenas a algumas alterações comportamentais que são facilmente exequíveis. A monitorização das cargas permitirá assim ao utilizador um acesso mais fácil e desagregado dos consumos, sabendo desta forma onde deverá atuar.

A eficiência energética é um tema que já é discutido há muitos anos, havendo imensa legislação Nacional e Internacional que obrigam e indicam a soluções para o incremento da eficiência energética. Por isso, neste documento é abordada a legislação desde que a temática do desenvolvimento sustentável começou a fazer-se notar, em jeito de enquadramento e porque se considerou importante fazer uma alusão.

Abordou-se neste documento também a temática da monitorização não intrusiva, referindo todo o seu desenvolvimento e métodos de tratamento de sinal enviado pelo contador. Procurou-se também encontrar as tecnologias existentes no mercado que permitem efetuar a monitorização não intrusiva de consumos.

Está também presente neste documento todos os equipamentos a serem instalados nas habitações que permitem a monitorização focando as características principais e que mais interessam no âmbito deste trabalho.

O questionário preliminar realizado irá permitir acesso a mais informação sobre as habitações, sobre como é utilizada a energia, servindo também de um importante apoio à monitorização ajudando a justificar os consumos obtidos.

Termos chave: Eficiência Energética, Monitorização não intrusiva de cargas ou NILM, energy monitor

Abstract

With the rising need to make a good saving and management of energy and resources, systems with capabilities for an efficient monitoring become an optimal tool to this effect. For a small residential sector in Vila Nova de Gaia, a system that allows for load consumption management will be adopted to improve energy efficiency by a reduction of consumption and associated costs. Regarding efficiency in buildings, housing and services, it can be increased by implementing a few behavioural changes that are easily achievable. Load consumption monitoring will then give the user an easier and unbundled access of load consumption, giving knowledge of where to act. Energy efficiency is a theme that is discussed for long number of years, having vast National and International legislation that force and also indicate the solutions in order to increase energy efficiency. To that end, in this document the legislation that was created since the theme of sustainable development was note is approached, creating a framework for this legislation and because it was considered important to make an allusion. In this document, the technique for non-intrusive monitoring was approached, referring to all of its development and the methods for signal treatment sent by the meter. It was also sought to find the existing technologies that are able to make a non-intrusive load consumption monitoring. It is also present in this document every equipment that must be installed in the houses that allow for monitoring, focusing on the main characteristics and the ones that relate to this work. The conducted preliminary survey will allow for access to more information about houses, on how energy is used, and also serves an important support for monitoring helping to justify obtained consumptions.

Agradecimentos

À Energaia, pela oportunidade;

Ao Prof. José Rui Ferreira, que me ajudou em todos os problemas que foram surgindo, que me aconselhou, defendeu e que se revelou sempre disponível em todas as alturas necessárias;

Ao Eng^o Luís Castanheira, pelo acompanhamento por parte da empresa, pelo esclarecimento de dúvidas e por todos os desafios que me lançou durante esta dissertação;

A todos os meus amigos e colegas, que me ajudaram a chegar aqui. Sem todos eles este caminho teria sido muito mais complicado. Afonso Teixeira, Carlos Andresen, João Sousa, Ricardo Moutinho e Tiago Rodrigues, um especial muito obrigado a vocês todos por estes 5 anos.

À Catarina Mendonça Fabiana por toda a amizade e apoio que me deu em toda esta jornada.

À minha mãe que sempre me apoiou, sempre acreditou em mim, lutou contra todas as adversidades dos últimos anos e trabalhou para poder me dar um futuro melhor.

Ao meu irmão, por saber que posso sempre contar com ele, por me ter distraído e ajudado nos momentos em que mais precisava.

Por último, agradeço à pessoa em que mais me inspirei, que mais segui o exemplo de pessoa honesta e trabalhadora, a pessoa que mais força me deu para ultrapassar todos os problemas desde a sua partida. Agradeço-te Pai, por teres estado sempre comigo todos estes anos.

A todos, um muito obrigado.

Jorge Carvalho

“The cheapest Watt is the one that’s never created.”

Bartram, Rodgers, & Muise, 2010

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Estrutura do Documento	2
2	Enquadramento	3
2.1	Legislação Internacional	3
2.2	Legislação em Portugal	7
2.3	Eficiência Energética no Setor Residencial	10
2.3.1	Caraterização do parque habitacional português e alojamentos	12
2.3.2	Energia e envolvente dos edifícios	13
2.3.3	Desagregação dos consumos energéticos residenciais	15
3	Monitorização dos Consumos	19
3.1	Conceitos Importantes	19
3.1.1	Assinatura elétrica de uma carga	19
3.1.2	Baixa frequência ou caraterísticas macroscópicas	20
3.1.3	Alta frequência ou caraterísticas microscópicas	20
3.1.4	Evento	20
3.1.5	Treino	20
3.1.6	Algoritmo de desagregação	20
3.1.7	Cargas com Consumo Permanente	21
3.1.8	Cargas On/Off	21
3.1.9	Cargas de estados finitos (também comumente Máquina de estados finitos)	21
3.1.10	Cargas Não Lineares ou cargas de consumos variáveis	22
3.2	Estado da Arte	22
3.2.1	NILM	22
3.2.2	Tecnologias NILM	34
4	Questionário preliminar	41
4.1	Perguntas que constituem o Questionário Preliminar	42
4.1.1	Questão número 1	42
4.1.2	Questão número 2	42
4.1.3	Questão número 3	42
4.1.4	Questão número 4	43
4.1.5	Questão número 5	43
4.1.6	Questão número 6	43
4.1.7	Questão número 7	43

5	Equipamento utilizado	45
5.1	Electricidade	45
5.2	Gás	46
5.3	Água	47
6	Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	49
	Referências	51

Lista de Figuras

2.1	Signatários ao Protocolo de Quioto em junho de 2005 [1]	6
2.2	Signatários ao Protocolo de Quioto 2013-2020 [2]	6
2.3	Evolução das emissões nacionais de Gases com Efeito de Estufa (GEEs) (sem LULUCF)	10
2.4	Repartição dos consumos de energia elétrica por setor em Portugal, 2011	11
2.5	Edifícios em Portugal por ano de construção, adaptação com dados do ICESD 2010, Fonte INE/DGEG	13
2.6	Evolução dos consumos no setor residencial incluindo os consumos afetos ao transporte (valores em tep), retirado do ICESD 2010	16
2.7	Evolução dos consumos por tipo de combustível de 1989 até 2010	16
2.8	Consumos por tipo de energia no alojamento e por tipo de uso em 2010, ICESD 2010	17
2.9	Alojamentos que utilizam grandes electrodomésticos por tipo de equipamento, ICESD 2010	18
2.10	Alojamentos que utilizam pequenos eletrodomésticos por tipo de equipamento, ICESD 2010	18
3.1	Representação de cargas com apenas dois estados.	21
3.2	Representação de cargas com quatro estados.	21
3.3	Esquema representativo do processo de funcionamento da técnica NILM proposta por Hart.	25
3.4	Perfil de uma bomba de calor exemplificativo do pico inicial e do estado linear nos segundos seguintes.	26
3.5	Vetor de identificação de características.	29
3.6	Sinal de corrente e FFT de uma Lâmpada Fluorescente Compacta em tempo e frequência.	30
3.7	Sinal de corrente e FFT de uma lâmpada com reóstato quando está no brilho máximo	30
3.8	(a) Trajetória original, (b) Trajetória rodada, (c) Forma de onda da corrente relativa a um secador de cabelo em modo de baixa potência.	32
3.9	(a) Trajetória sentido contrário dos ponteiros do relógio com um atraso da corrente em relação à tensão de um ângulo de fase $\pi/3$, (b) Trajetória na forma de uma linha reta.	32
3.10	Três trajetórias com diferentes desfasagens. (a) sem desfasagem; (b) desfasagem de $\pi/6$; (c) desfasagem de $\pi/3$	32
3.11	(a) Trajetória de um aspirador e a sua linha média (linha segmentada); (b) Terceiro harmónico num aspirador.	33

3.12	(a) Simulação de trajetórias:duas intersecções; (b) Simulação de trajetórias:quatro intersecções.	33
3.13	(a) Trajetória de um rádio; (b) Leitor de CD em modo de stand by.	34
3.14	Aparelho de monitorização TED 5000.	35
3.15	Esquema de funcionamento do eMonitor.	36
3.16	Ambiente gráfico da pagina web Plotwatt.	37
3.17	Display interativo onde podem ser consultados os consumos e outras funcionalidades.	38
3.18	Ambiente gráfico do software Bidgely.	39
4.1	Questionário preliminar.	44
5.1	Armário do contador ACE SL7000.	45
5.2	Módulo GSM da MAESTRO para transmissão de dados.	47
5.3	Contador de gás Gallus da Itron.	48
5.4	Contador de água Aquadis+ da Itron e respetivo mostrador com Cyble Target. . .	48

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Os edifícios são responsáveis por uma grande fatia dos consumos sendo que é bastante rentável intervir na sua eficiência energética para reduzir as emissões e a pegada ecológica. Para o consumidor final é importante ter conhecimento de mais informações sobre a fatura energética e assim conseguir identificar pontos de elevado consumo sabendo onde poderá intervir.

A monitorização não intrusiva surge como uma técnica ainda não muito divulgada capaz de ajudar consumidores e empresas de prestação de serviços a tomar iniciativas na redução dos consumos e a melhor identificarem avarias em equipamentos.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo principal estudar os métodos de monitorização não intrusiva de consumos por forma a melhorar a eficiência energética de edifícios integrados no setor residencial.

Assim, pretende-se realizar um levantamento das metodologias de tratamento de informação habitualmente associadas aos sistemas de monitorização não intrusiva de consumos. Procurar-se-á também identificar tecnologias de monitorização remota de consumos, procurando também associa-las aos métodos focados.

Era também objetivo desta dissertação a apresentação de um caso prático em que constariam os consumos de algumas habitações no município de Gaia. Por vários motivos, não foi possível obter resultados atempadamente, apresentando-se assim um questionário preliminar destinado aos proprietários das habitações.

Pretende-se por último fim fazer uma apresentação do material instalado e utilizado para a monitorização de consumos e ainda identificar propostas de desenvolvimentos futuro para os temas abordados.

1.3 Estrutura do Documento

O documento divide-se em seis capítulos. O atual capítulo, Introdução, define qual a motivação da dissertação e os objetivos que se pretendem cumprir com a sua realização.

No capítulo 2, Enquadramento, pretende-se fazer uma alusão ao percurso legislativo a nível Internacional e Nacional relacionado com a eficiência energética e os esforços que foram feitos até à data atual. Faz-se uma caracterização do parque habitacional português e as formas de melhorar a eficiência energética dos edifícios, incluindo também os equipamentos mais consumidores que compõe o setor residencial.

No capítulo 3, aborda-se a temática central do documento, a Monitorização dos Consumos, apresentado alguns conceitos importantes relacionados com esta temática e posteriormente o Estado da Arte com as técnicas desenvolvidas para detetar as cargas e calcular os consumos. Este tópico divide-se essencialmente em monitorização a baixas frequências e a altas frequências.

No capítulo 4 é apresentado o Questionário preliminar a ser realizado aos proprietários dos alojamentos com a devida justificação das questões e razões da sua necessidade.

No capítulo 5 é feita uma descrição do equipamento a ser instalado focando os seus detalhes mais importantes no âmbito da dissertação.

No capítulo 6, Conclusões e Desenvolvimentos Futuros, é realizado um comentário geral dos assuntos abordados e enunciadas possíveis alterações ou acrescentos ao paradigma atual.

Capítulo 2

Enquadramento

Este documento foi realizado no âmbito da Unidade Curricular Dissertação, do Mestrado Integrado de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (MIEEC), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), em parceria com a empresa Energaia.

A orientação foi levada a cabo pelo Prof. José Rui Ferreira, da FEUP, que foi complementada com a supervisão do Eng.º Luís Castanheira, na empresa. Ambos desempenharam um papel fundamental no decorrer da dissertação, pois permitiram manter o bom rumo do trabalho efetuado, além de mostrarem sempre disponibilidade para o esclarecimento das variadas questões que foram surgindo.

Foi também criado um sítio Web que possui atualizações do trabalho desenvolvido durante todo o período de realização da dissertação, e que pode ser consultado em:

<http://jorgecarvalho1990.wix.com/ee08222>

2.1 Legislação Internacional

Durante longos anos, o consumo desmensurado das fontes de energia não constituiu objeto de preocupação global, nem pôs em causa os efeitos ambientais latentes ou até a sustentabilidade futura. Não existiam entraves relevantes ao consumo, sendo apenas o preço comercial das energias o fator mais importante. Eficiência energética e sustentabilidade são exemplos de conceitos que até há algumas dezenas de anos atrás eram praticamente desconhecidos ou pouco divulgados. Não existiam também preocupações ao nível da construção nem normas reguladoras que a regessem, a introdução de renováveis nos países era insignificante, existindo ainda uma enorme falta de regulamentação ao nível da emissão de poluentes pelos veículos ou indústrias.

Entretanto em 1972 começa a sentir-se a necessidade de adotar medidas de sustentabilidade, realizando-se na cidade de Estocolmo a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (UNCHE- United Nations Conference on the Human Environment) [3]. Esta conferência constitui um marco importante, pois foi a primeira conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e a primeira grande reunião para discutir a relação entre homem e ambiente. Começou desta forma a ser delineado o conceito de sustentabilidade, e a constituírem-se também os alicerces

para as ações ambientais a nível internacional, em que o ambiente deveria ser uma preocupação comum e em que a sua degradação e poluição afeta todos os países e as gerações futuras.

Foram assim criados princípios e recomendações formando no seu conjunto um Plano de Ação onde se apelava a uma necessidade de apoio financeiro e assistência técnica a comunidades e países mais pobres. Apesar dos termos “sustentabilidade” e “desenvolvimento sustentável” não serem usados diretamente, podem ler-se no documento passagens que levam praticamente às suas definições:

- “Os recursos não renováveis da terra devem empregar-se de forma que se evite o perigo de seu futuro esgotamento e se assegure que toda a humanidade compartilhe dos benefícios de sua utilização.”;
- “O homem tem especial responsabilidade e legitimidade para inteligentemente gerir o património da flora e fauna silvestres e o seu habitat, que estão agora em grave perigo por uma combinação de fatores adversos. Assim, ao planificar o desenvolvimento económico deve-se atribuir importância à conservação da natureza, incluindo toda a vida animal”;
- “O planeamento racional constitui uma ferramenta essencial para harmonizar qualquer conflito entre as necessidades de desenvolvimento e as necessidades de proteger e melhorar o ambiente”;

Anteriormente foram enunciadas apenas algumas das passagens que constam na Declaração da UNCHE, mas muitas outras poderiam ter sido transcritas, uma vez que, na sua maioria, tinham o intuito de alarmar para o aparecimento de consequências ambientais severas a curto e longo prazo, caso se continuasse a ignorar as questões ambientais.

Apesar deste esforço, só anos mais tarde surge, em 1987, um documento que atribuí a atual definição para o desenvolvimento sustentável, que é “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”. O Relatório de Brundtland [4] aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo, despertando uma vez mais para a necessidade da relação entre homem e ambiente. Este não promove a estagnação do crescimento económico, mas sim uma sinergia entre as questões ambientais e sociais.

Mais tarde, já em 1992, no Rio de Janeiro, o conceito de desenvolvimento sustentável é cimentado na Conferência sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development) [5]. Foram alcançadas duas importantes conquistas nesta conferência: por um lado a junção dos dois termos, “meio ambiente” e “desenvolvimento”, anteriormente alvo de referência em 1972 e 1987, por outro a elaboração da Agenda 21, com metas de sustentabilidade global para o século XXI. Esta, que despertou especial interesse global porque deu a conhecer que os problemas ambientais do planeta estão intimamente ligados a condições económicas e problemas de justiça social. Demonstrou ainda que:

- As necessidades sociais, ambientais e económicas devem encontrar um equilíbrio entre elas para uma sustentabilidade de longo prazo;

- Se as pessoas são pobres e a economia nacional é fraca, o ambiente padece;
- Se o ambiente é afetado e os recursos são consumidos desmesuradamente, as pessoas sofrem e as economias entram em recessão;
- Por fim, a mais pequena ação ou decisão traz potenciais repercussões à escala global.

No seguimento de todos os esforços anteriormente citados, foi atingido o que é considerado o verdadeiro ponto de viragem, o Protocolo de Quioto (PQ). O PQ é um acordo ligado à UNFCCC [6] (United Nations Framework Convention on Climate Change) com compromissos mais rígidos ao estabelecer metas de redução de emissões dos gases que agravam o efeito de estufa, a nível internacional. Reconhecendo que os países desenvolvidos são os principais responsáveis pelos atuais elevados níveis de emissões GHG (Greenhouse Gas) para a atmosfera como resultado de mais de 150 anos de atividade industrial, o protocolo coloca um pesado encargo sobre as nações desenvolvidas sob o princípio de “responsabilidades comuns, mas diferenciadas”.

Este protocolo, como o nome sugere, foi adotado em Quioto, Japão em 11 de dezembro de 1997 e entrou em vigor anos mais tarde, em 16 de fevereiro de 2005. As regras e requisitos para a implementação do Protocolo de Quioto foram mais tarde elaborados um conjunto de decisões denominado “Acordo de Marrakesh”, que foi formalmente adotado em Montreal, Canada em dezembro de 2005. Este período de adoção deveu-se à existência de um limite mínimo de países inscritos e de percentagem de emissões. Assim só se ratificou aquando da presença de 55 países, totalizando estes 55% das emissões de GHG ocorridas no ano de 1990. O primeiro período de compromisso começou em 2008 e terminou em 2012. Durante este primeiro período, 37 países industrializados e a Comunidade Europeia comprometeram-se a reduzir as emissões de GHG numa média de 5% dos níveis de 1990. Na Figura 2.1 constam os países que fizeram parte deste primeiro período.

Será importante referir, que já antes deste protocolo começar verdadeiramente a vigorar, surgiu no ano de 2007 um novo ponto de viragem na política da União Europeia em matéria de clima e energia, em que se sentiu que a Europa pretendia estar na vanguarda e adaptar-se o mais rápido possível a esta nova situação: redução das emissões de GHG e desenvolvimento de fontes de energia renováveis e sustentáveis. Com a adoção de novas metas de eficiência energética e de energias renováveis, além da diminuição de custos, da dependência de terceiros e da diminuição de GHG, seria ainda um meio de modernizar a economia europeia, onde as tecnologias desenvolvidas e a sociedade conseguissem dar resposta a novas necessidades fomentando crescimento e emprego. Assim, o Conselho Europeu aprovou em dezembro de 2008 o pacote clima- energia, com o objetivo de que a União Europeia reduzisse em 20% (ou até 30%, se chegasse a um acordo internacional) as emissões de gases com efeito de estufa, medida esta que se propunha já no protocolo de Quioto, mas sendo agora mais realista, aumentar em 20% a penetração das energias renováveis no consumo energético global, aumentar em 20% a eficiência energética até 2020 e por último o pacote fixava ainda uma meta de 10% de energias renováveis no setor dos transportes. Todas estas medidas constituem assim a diretiva 2012/27/EU. [7] Atualmente, o PQ conta já com 192 signatários, totalizando assim 63,7% das emissões. [8]

Signatories to the Kyoto Protocol, June 2005

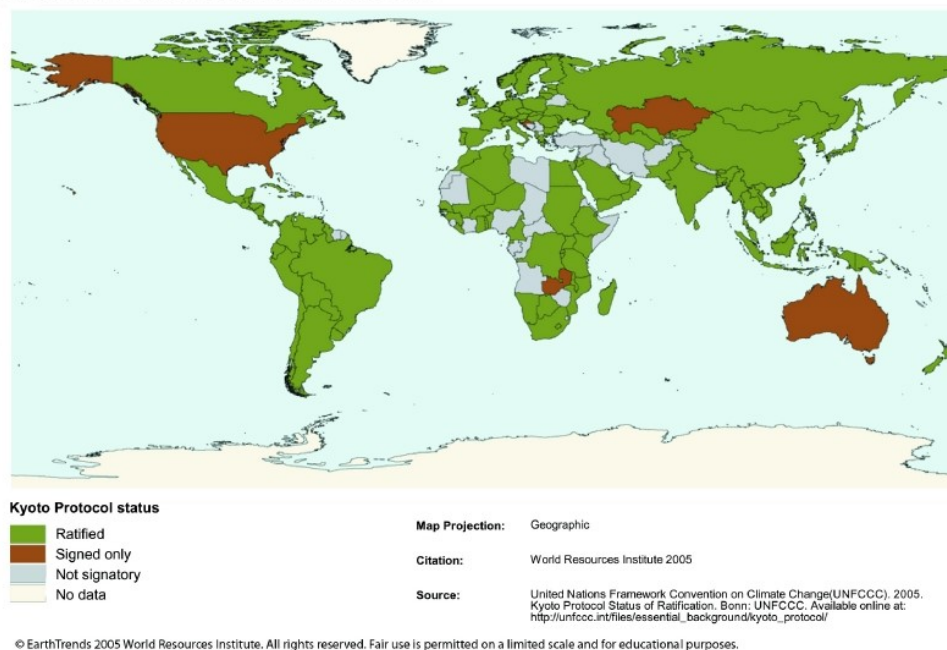


Figura 2.1: Signatários ao Protocolo de Quioto em junho de 2005 [1]

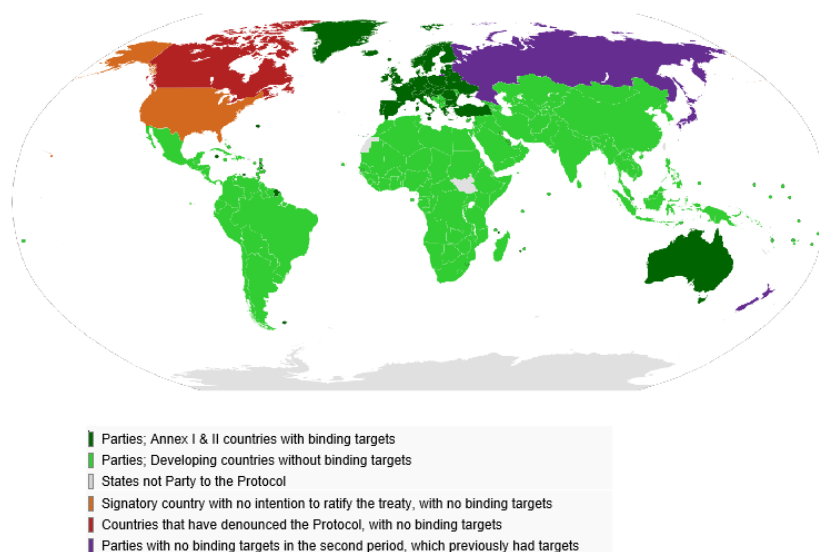


Figura 2.2: Signatários ao Protocolo de Quioto 2013-2020 [2]

Pode assim retirar-se que apesar do PQ em si não ter conseguido atingir todos os efeitos que esperava, este foi sem dúvida um enorme impulso para todos os esforços que se seguiram e para todas as mudanças de mentalidades e costumes insustentáveis por muito mais anos. Pode constatar-se que conseguiu ao longos dos anos juntar cada vez mais signatários, Figura 2.2, concluindo-se que conceitos como a eficiência energética se encontram já bastante mais proliferados e com cada vez

mais peso na sociedade atual.

2.2 Legislação em Portugal

Ao assinar o PQ, a Europa comprometeu-se a reduzir as suas emissões e alterar a forma como estava a atuar até então no ambiente. Mas estes esforços não são semelhantes para todos os Estados Membros, quer pela sua situação geográfica (que leva por exemplo a que as temperaturas, distâncias à costa ou altitude sejam distintas entre os EM), quer pela situação socioeconómica de cada um. Em Portugal, desde a entrada em vigor do PQ, tem sido aprovada muita legislação de forma a assegurar o cumprimento dos compromissos assumidos internacionalmente. Para os países da UE, onde Portugal se inclui existia o compromisso de uma redução de 8% das emissões, mas estes valores são diferenciados entre os países signatários. 60,2 milhões de toneladas de CO₂ equivalente foi o valor emitido por Portugal em 1990, e com o desenvolvimento económico e industrial dessa época, esse valor aumentou para 82,7 milhões de toneladas de CO₂ em 2006. O nosso país foi dos mais beneficiados uma vez que no período entre 2008 e 2012 as emissões portuguesas poderiam ultrapassar até 27% dos níveis registados em 1990. [9]

Após a aceitação e entrada em vigor do PQ, tem sido aprovada legislação no sentido de honrar o compromisso internacional, mas desde 1984 que existem registos de organismos e a preocupação da conservação ambiental. Assim o cumprimento dos objetivos nacionais no que concerne às condições climáticas conta com os seguintes instrumentos:

- Agência para a Energia – ADENE;
- Comissão para as Alterações Climáticas (CAC);
- Plano Nacional para o Desenvolvimento Económico e Social – PNDES;
- Programa Nacional para as Alterações Climáticas – PNAC;
- Eficiência Energética e Energias Endógenas – Programa E4;
- Programa Água Quente Solar para Portugal – AQSpP;
- Programa para a Eficiência Energética em Edifícios – P3E;
- Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável – ENDS;
- Estratégia Nacional para a Energia – ENE;
- Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER).

A ADENE inicialmente denominado Centro para a Conservação da Energia (CCE) em 1984, denunciava já a preocupação com a adoção de uma política racional e eficiente da energia, sofrendo reestruturação em 2000 resultando na Agência para a Energia (AGEN). Em dezembro de 2001, na

sequência da Resolução do Conselho de Ministros nº154/2001, a missão, âmbito e atribuições da Agência para a Energia foram ajustadas e a sua denominação alterada para ADENE através do Decreto-lei nº 314/2001. “A ADENE realiza, prioritariamente, atividades de interesse público no domínio da política energética e dos serviços públicos concessionados ou licenciados no sector da energia, podendo atuar em áreas relevantes para outras políticas sectoriais, quando interligadas com a política energética, em articulação com os organismos públicos competentes.”

A Comissão para as Alterações Climáticas foi criada pelo Governo Português, em 1998, mas apenas no ano de 2006 por Resolução do Conselho de Ministros lhe é atribuída a qualidade de autoridade nacional designada para os mecanismos de flexibilidade do PQ.

O Programa Nacional para o Desenvolvimento Económico e Social foi um documento em que o Governo definiu os vários objetivos ambientais a serem alcançados desde o período de 2000 a 2006.

A primeira versão do PNAC só foi apresentada para discussão pública em 2002, tendo sido elaborada pelo CAC, sendo aprovadas medidas adicionais em dezembro de 2003. Surgiu assim o PNAC 2004 que foi substituído depois pelo PNAC 2006, que definia um novo corpo de medidas e políticas adicionais de implementação setorial, das quais se destaca a obrigatoriedade de elaboração de planos de atuação para cada medida, devendo assim ser apresentado um plano de atuação onde constem: calendarização, meios, resultados esperados, indicadores, organismo(s) responsável(eis) pelo acompanhamento e ponto focal, com relatórios de progresso semestral [10]. Como existia um forte empenho por parte do Governo na redução de emissões através de medidas internas, foram revistas as medidas do PNAC 2006 (Novas Metas 2007), estando associadas estas medidas ao setor de oferta de energia e a uma aceleração da taxa de penetração dos biocombustíveis nos transportes, aprovadas na Resolução de Conselho de Ministros nº1/2008.

O Programa E4 foi lançado pelo Ministério da Economia em setembro de 2001, e tinha o intuito de, pela promoção da eficiência energética e da valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da nossa sociedade, com base nos padrões de “desenvolvimento sustentável” tão presente à data. Assentava em três grandes eixos, em primeiro lugar a diversificação do acesso às formas de energia disponíveis no mercado e aumento da qualidade de serviço prestado pelas empresas, em segundo lugar a promoção da melhoria da eficiência energética de modo a reduzir a intensidade energética, PIB e fatura energética externa, e por último a promoção da valorização das energias endógenas, entre elas, a hídrica, eólica, biomassa, solar e energia das ondas. Apoiou ainda medidas de incentivo financeiro à eficiência energética e às energias renováveis no âmbito do Programa Operacional de Economia (POE), agora chamado de Programa de Incentivos à Modernização da Economia.

O Programa Água Quente Solar para Portugal foi lançado em 2001, com o intuito de potenciar o aumento da contribuição da energia solar para o aquecimento de água, tendo sido promovido pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGE). Centrava-se no uso de coletores solares térmicos, com o objetivo de chegar a uma área coberta de 1 000 000 m² de coletores até 2010, com uma redução de 1% de emissões GHG, mas também desta forma diminuir as necessidades externas de energia.

O Programa para a Eficiência Energética em Edifícios também promovido pela DGEG no ano de 2001, e apoiado pelo POE, tinha como objetivo a melhoria da eficiência Energética dos Edifícios em Portugal. Este programa tornou-se bastante importante uma vez que levou à revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [11] e do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios (RSECE) [12] e assim à criação do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE), que à semelhança dos eletrodomésticos, também os edifícios passariam no futuro a dispor de um certificado que traduzisse o seu consumo energético. Estes regulamentos obrigam assim a melhores técnicas e requisitos construtivos, um melhor dimensionamento e manutenção da climatização e ainda à identificação de propostas de melhoria no certificado emitido, sempre com o objetivo de maximizar a eficiência energética por um lado, e ainda assim garantir o conforto e a promoção da saúde pela qualidade do ar interior por outro.

A ENDS foi um documento que surgiu em 2002, após os compromissos no âmbito da Agenda 21, na preparação da Cimeira Mundial de Joanesburgo, tendo posteriormente sido revista em 2004 de forma a traçar nova proposta para o período de 2005 a 2015. A ENDS tinha como objetivo colocar Portugal ao mesmo nível dos outros países da UE em questões de desenvolvimento de forma a assegurar um adequado equilíbrio das dimensões económicas, sociais e ambientais. [13]

Inicialmente denominado ENE 2005, este foi mais tarde revogado pela Resolução do Conselho de Ministros, originando o ENE 2020 no ano de 2010. Com a implementação desta estratégia pretende-se “manter Portugal na fronteira tecnológica das energias alternativas, potenciando a produção e exportação de soluções com elevado valor acrescentado, que permitam ainda diminuir a dependência energética do exterior e reduzir as emissões de gases com efeito de estufa”. Pretende-se assim:

- Reduzir a dependência energética do País face ao exterior;
- Cumprir os compromissos do pacote clima-energia;
- Reduzir importações utilizando fontes endógenas;
- Consolidar o cluster das energias renováveis em Portugal;
- Desenvolver setores ligados à promoção da Eficiência Energética,
- Cumprir com as regulamentações europeias definidas relativas ao desenvolvimento sustentável.[14]

Em 28 de fevereiro de 2013 foi aprovado o novo PNAEE 2016 e PNAER 2020, para revisão dos seus antecessores e sua revogação de forma a projetar novas ações e metas para 2016, integrando as preocupações relativas à redução da energia primária para o horizonte de 2020, constantes da diretiva comunitária relativa à eficiência energética. A mais presente revisão do PNAEE teve em conta as medidas de eficiência energética e de promoção das fontes de energia renováveis já constantes desde o PNAC 2006, sendo importante a articulação entre o PNAC 2020, o PNAEE e o PNAER para uma melhor convergência das políticas energéticas e ambientais, enquanto instrumentos de uma economia competitiva e de baixo teor de carbono. O PNAER é redefinido em

função do cenário atual de excesso de oferta de produção de eletricidade decorrente de uma redução da procura, de forma a adequar e a mitigar os custos inerentes. Em traços gerais, esta revisão realizou-se no sentido de criar uma sinergia positiva entre os dois Programas que anteriormente eram dissociados permitindo assim uma ação concertada para o cumprimento dos objetivos nacionais e europeus, minimizando investimentos e aumentando a competitividade. Importante será ainda referir que a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 responsável pelas alterações nestes programas revogou ainda a anteriormente citada ENE 2020, para definir metas ainda mais ambiciosas. Por fim, este plano mantém a aposta nas fontes de energia renovável, uma vez que as considera “muito relevantes na promoção de um mix energético equilibrado, que reforce a segurança do abastecimento e diminua o risco da variabilidade do preço de determinadas commodities e respetivas implicações na fatura energética nacional”, exigindo uma melhor seleção dos apoios, para que a sua tecnologia seja mais avançada e racionalmente económica. [15]

Neste momento e de acordo com o Inventário Nacional de Emissões de 2013, relativo ao ano de 2011, foi estimado um aumento de 16.3% em relação ao ano de 1990, sem contabilização das emissões de alteração do uso do solo e florestas. Notou-se assim um abrandamento das emissões no início de 2000 e mais tarde, principalmente a partir de 2005 um diminuição dos GHG. Este cenário reflete a crise económica e estagnação presente na economia portuguesa, além de refletir o aumento da introdução do gás natural, a penetração das energias renováveis, a instalação de centrais de ciclo combinado e de cogeração e o aumento da eficiência energética, fruto da legislação que tem vindo a ser aplicada. Todos estes dados podem ser observados na Figura 2.3.

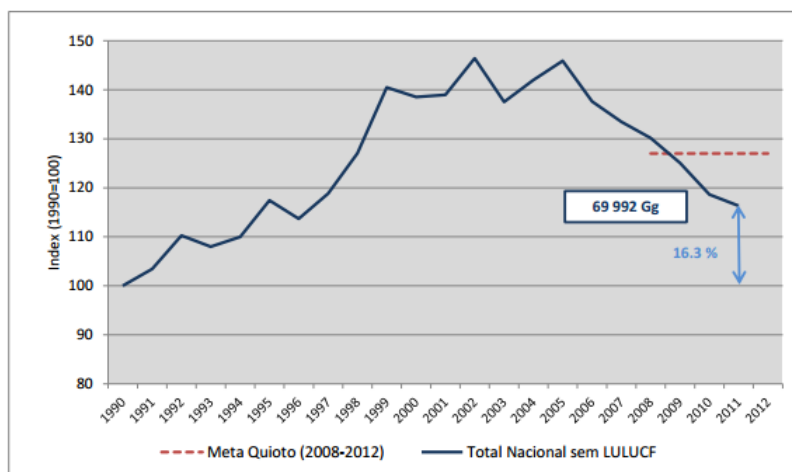


Figura 2.3: Evolução das emissões nacionais de Gases com Efeito de Estufa (GEEs) (sem LULUCF)

2.3 Eficiência Energética no Setor Residencial

A melhoria da eficiência energética no Setor Residencial é um dos fatores essenciais para que possam ser cumpridos os compromissos a que Portugal se vinculou, mas também para que

possam ser conseguidas reduções na fatura energética. Os edifícios são responsáveis por uma parte muito importante dos consumos, pois é no seu interior que se passa a maior parte do tempo e as suas características, arquitetura e os seus padrões técnicos de construção não só influenciam a produtividade, o bem-estar mas também definem a quantidade de energia que será consumida nesse edifício relativa a aquecimento, arrefecimento e ventilação que são necessários para criar um ambiente de conforto e que garanta uma boa qualidade de ar interior para os ocupantes. Analisando a Figura 2.4, pode notar-se pela desagregação presente que 59% dos consumos de energia elétrica se referem aos edifícios (pelo somatório do setor doméstico, comercial e serviços e setor público), sendo assim importante que exista uma alta eficiência energética. De salientar ainda que a fatia que o setor doméstico ocupa, e que mais interesse tem no âmbito desta dissertação, é ainda relevante, pelo que deverá também ser alvo de uma maximização da eficiência energética.

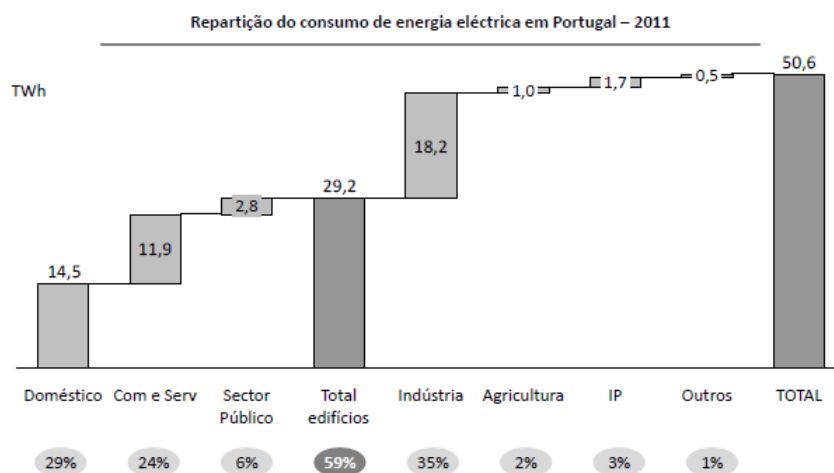


Figura 2.4: Repartição dos consumos de energia elétrica por setor em Portugal, 2011

Em edifícios destinados à habitação com potência térmica nominal de aquecimento ou arrefecimento inferiores a 25 kW terão de obedecer ao RCCTE, enquanto um edifício com potências superiores terão de respeitar o RCCTE e também o RSECE. Relativamente aos edifícios de serviços pequenos (área útil menor que 1000 m²) para potências inferiores a 25 kW terão de respeitar o RCCTE sujeitos a requisitos energéticos enquanto para potências superiores e sendo estes pequenos ou grandes edifícios de serviços (área útil maior que 1000 m²) terão de obedecer ao RSECE com requisitos energéticos e de qualidade do ar. Por fim, todos os grandes edifícios, independentemente da sua potência térmica terão de respeitar o RSECE com ambos os requisitos.

Estes regulamentos obrigam a que muitas medidas sejam tomadas para se cumprirem requisitos mínimos para novos edifícios, reabilitações ou para que edifícios existentes continuem a evoluir e a cumprir com as emissões regulamentares e de modo a que lhes seja assim atribuída uma boa classificação energética no âmbito do SCE. Assim podem enumerar-se algumas das áreas em que se tem intervindo: iluminação, equipamentos, envolvente opaca e translúcida (envidraçados), equipamento AVAC (aquecimento ventilação e ar condicionado), produção de Água Quente

Sanitária, com integração de painéis solares térmicos para este efeito e outras energias renováveis quando rentável.

Apesar dos ganhos possíveis com a implementação de medidas de eficiência energética, quando as pessoas não são obrigadas a tomar medidas, por desconhecimento ou por incerteza nas vantagens que estas lhes poderão trazer não avançam na compra de novas tecnologias. Muitas vezes a certificação energética é vista não como uma oportunidade, mas sim com uma obrigação, como mais um encargo, e mesmo quando os retornos são altamente aliciantes o consumidor final tem receio do risco. Assim empresas de Serviços de Energia são vitais nestes processos, uma vez que poderá haver partilha de risco com o cliente, implementando as medidas de EE que achar convenientes, através de auditorias, certificação, gestão remota ou monitorização dos consumos. Cada vez mais, não só por motivos ambientais, mas também monetários, o cidadão deve assumir um papel relevante na gestão e poupança da energia em sua casa, com o ideal de que a poupança de energia é a fonte de energia renovável mais barata e imediata existente e ainda que esta utilização eficiente poderá levar a um aumento das condições de conforto da habitação.

2.3.1 Caraterização do parque habitacional português e alojamentos

Neste ponto não se pretende fazer uma caraterização extensiva do parque habitacional nacional, mas apenas fazer uma breve síntese de como se encontra este setor de forma a sustentar as medidas de eficiência energética que podem ser tomadas e a influência destas nos consumos energéticos.

Foi realizado para o ano de 2010 o Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico (ICESD), onde foram consideradas apenas residências principais, contando com um universo de 3 932 010 alojamentos pertencentes a Portugal Continental e Regiões Autónomas. A idade das habitações, pelas técnicas construtivas, políticas e medidas de eficiência energética da época, é um fator condicionante dos consumos de energia, obtendo-se por este inquérito que apenas 10,8% dos alojamentos foram construídos pós 2000, ou seja, depois do RCCTE ter sido revisto, e as medidas de construção terem sido melhoradas.

Pode ainda retirar-se do ICESD que 99,9% dos alojamentos possuem ligação à rede pública de eletricidade, 99,4% têm água canalizada em que 87,7% provém da rede pública e ainda 97,5% usufrui de água quente canalizada. Destes últimos, 95,5% dos alojamentos utiliza gás, sendo que a percentagem com ligação à rede de Gás Natural é de apenas 21,1%, sendo ainda muito comum a utilização do gás GPL em garrafa com uma percentagem de 70,5%.

A orientação e isolamento são também condições essenciais para garantir elevada eficiência do alojamento, garantindo assim consumos mais reduzidos e ainda um aumento do conforto dos ocupantes. Para estes parâmetros, e ainda recorrendo ao ICESD, apenas 21,1% dos alojamentos possui paredes exteriores com isolamento e com uma percentagem ainda inferior de 17,1% encontra-se a cobertura do alojamento com isolamento. Um fator preocupante, até pela facilidade de aplicação, baixo custo de investimento e pequeno período de retorno do investimento do vidro duplo (com ainda uma melhoria do conforto dos ocupantes garantida, pelo isolamento do barulho exterior e transmissão mais dificultada da temperatura externa) é o da utilização do vidro simples,

Ano de Construção alojamentos em Portugal

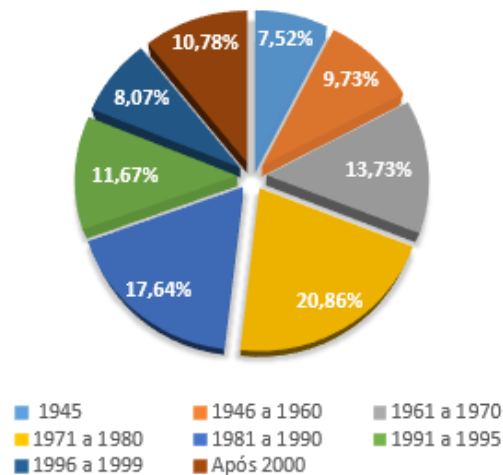


Figura 2.5: Edifícios em Portugal por ano de construção, adaptação com dados do ICESD 2010, Fonte INE/DGEG

com uma percentagem superior a 72% em todos os alojamentos independentemente de a fachada estar a Sul, Nascente ou Poente.

Todo este tipo de informação é de extrema importância para a aplicação das medidas de eficiência energética, uma vez que existe a necessidade de identificar os pontos frágeis dos alojamentos a nível construtivo e também para futuras tomadas de decisão a este nível. [16]

2.3.2 Energia e envolvente dos edifícios

Como já foi referido em alguns pontos anteriores, a envolvente dos alojamentos é um fator muito importante, pois está relacionada diretamente com os consumos, uma vez que uma fraca envolvente levará a um maior consumo de energia para alcançar uma condição de conforto. Assim neste ponto serão abordadas com mais detalhe algumas das medidas possíveis para maximizar a eficiência energética de uma habitação.

2.3.2.1 Localização e forma do edifício

A forma de um edifício é um parâmetro também ele muito importante para a eficiência energética, e uma casa independente será em princípio menos eficiente que por exemplo um edifício de vários pisos.

Um edifício para ser eficiente deverá ter um fator de forma, isto é, uma relação entre superfície externa e volume aquecido, de baixo valor, de modo a que a transferência de calor seja menor.

A localização geográfica de um alojamento é também um fator a ter em consideração, sendo importante a consideração da distância ao mar, altitude e a zona climática a que pertence, conforme está expresso no RCCTE (3 zonas climáticas na estação de aquecimento, Inverno portanto, e 3 zonas climáticas na estação de arrefecimento, Verão) que determina a severidade climática dessa região. Os ventos fortes serão também eles um fator a ter em conta, assim como uma boa ventilação do próprio edifício.

2.3.2.2 Orientação e captação da energia solar

Portugal, pela sua posição geográfica, tem ótimas condições para poder aproveitar a energia solar, e é por isso de extrema importância que exista uma maximização do seu aproveitamento. O grau de conforto de uma habitação é medido pela sua capacidade de captar a radiação solar na estação de aquecimento em que existe uma maior necessidade de energia e de ter a menor superfície possível exposta à luz do sol quando se está na estação de arrefecimento e existe necessidade de dissipar calor. Existe assim a necessidade de encontrar um compromisso para ambas as estações, tendo ainda em conta as atividades e equipamentos que estarão presentes no interior da habitação.

Algumas regras a seguir:

- Fachada principal orientada a Sul;
- Exposição solar das superfícies Este e Oeste reduzidas, pois estas são irradiadas principalmente durante o verão, sendo a radiação difícil de controlar, uma vez que é quase perpendicular às janelas;
- Redução das paredes e janelas orientadas a Norte e aumento das localizadas a Sul, sendo mais relevante durante a estação de aquecimento, uma vez que é durante esta que existem mais perdas térmicas para o exterior.
- Proteção solar nas janelas é de vital importância durante o Verão, devendo estas ser de cor clara, de forma a melhor refletir a luz solar;
- Utilização de palas horizontais ou verticais devidamente dimensionadas para que no verão ajudem a diminuir os efeitos da radiação solar.

2.3.2.3 Caraterísticas construtivas

A envolvente exterior deve ser bem dimensionada de forma a os ganhos e perdas de energia sejam controlados e que levem a um menor consumo de energia. Assim é importante que os materiais aplicados levem a uma boa inércia térmica com boas caraterísticas isolantes. Uma elevada inércia térmica corresponderá a uma maior capacidade que os materiais mais pesados têm de se comportar como verdadeiros “reservatórios de calor”. Assim, paredes, além de serem usados materiais mais pesados, deverá existir um adequado isolamento térmico para prevenir as trocas energéticas entre o interior e exterior, assim como prevenir quaisquer pontes térmicas (falhas no isolamento, correspondendo a pontos frágeis).

O isolamento recorrendo a isolantes térmicos deverá ser dimensionado tendo em conta o clima da zona. São normalmente materiais porosos e com baixa densidade como o EPS (Poliestireno Expandido), XPS (Poliestireno Extrudido), lã de rocha, etc. A aplicação de isolamento pela parte exterior da habitação é a forma mais eficaz de o fazer, pois este isolamento é ininterrupto, mitigando assim as pontes térmica, conseguindo-se ainda um ambiente mais confortável e uma melhor conservação do edifício. Existe ainda a possibilidade de se aplicar isolamento pelo interior ou então colocando isolamento na caixa-de-ar, não sendo estes métodos tão eficientes como o primeiro.

Um fator também ele a ter muito em conta, sendo normalmente um dos preferidos como alvo de proposta de melhoria são as coberturas, isto porque são as superfícies da envolvente onde se registam mais perdas de calor. É uma das medidas mais simples e com um período de retorno usualmente muito baixo. Depois dependendo se a cobertura for horizontal ou inclinada deverá ser utilizada a técnica que melhor se adequa à situação.

Os vidros e janelas desempenham também um papel muito importante no que concerne à eficiência energética de um edifício, funcionando como um meio de entrada de calor gratuito em certas ocasiões e como dissipador de calor que eleva os consumos. Assim terá de existir também um compromisso e uma forma de maximizar a captação dos ganhos solares durante o Inverno com minimização das perdas, melhorar condições de ventilação natural e reforçar a proteção solar durante a estação de Verão. Os envidraçados também denominados “envolvente translúcida” estima-se serem responsáveis por 25 a 30% das necessidades de aquecimento por perdas térmicas, tornando-se assim importante a escolha adequada da área da superfície envidraçada, o tipo de vidro (simples, duplo e outros) e o tipo de caixilharia (com ou sem corte térmico, por exemplo).

A cor do revestimento de um alojamento é também por si só um fator preponderante, optando-se normalmente por cores claras que permitem uma melhor reflexão e menor absorção da radiação solar, principalmente na estação de arrefecimento.

A partir deste ponto pode retirar-se que todas as medidas de eficiência começam já desde a fase de licenciamento de uma habitação, sendo cada detalhe importante, e cada detalhe irá ter efeitos futuros nos consumos durante a utilização da habitação. Assim, importa garantir na fase inicial que tudo está a ser feito penado no futuro, assim como é defendido no conceito do desenvolvimento sustentável. Neste ponto foram abordadas medidas de cariz construtivo, mas poderia também falar-se também já na fase de construção da introdução de energias renováveis para o aumento da eficiência energética e com vista a uma casa mais autossustentável, com introdução de painéis solares térmicos para AQS ou painéis fotovoltaicos por exemplo.

2.3.3 Desagregação dos consumos energéticos residenciais

Nos últimos 15 anos tem-se assistido a uma alteração dos hábitos de consumo de energia no setor residencial, conforme se pode observar na Figura 2.6.

Além de se registar um aumento nos consumos totais, nota-se um elevado aumento principalmente no que concerne aos transportes, passando a representar o alojamento 49,4% do total e os transportes os 50,6% restantes, concluindo-se assim que este deverá ser um setor com necessidades de medidas de eficiência energética e sem dúvida um setor no qual se deve intervir, uma vez

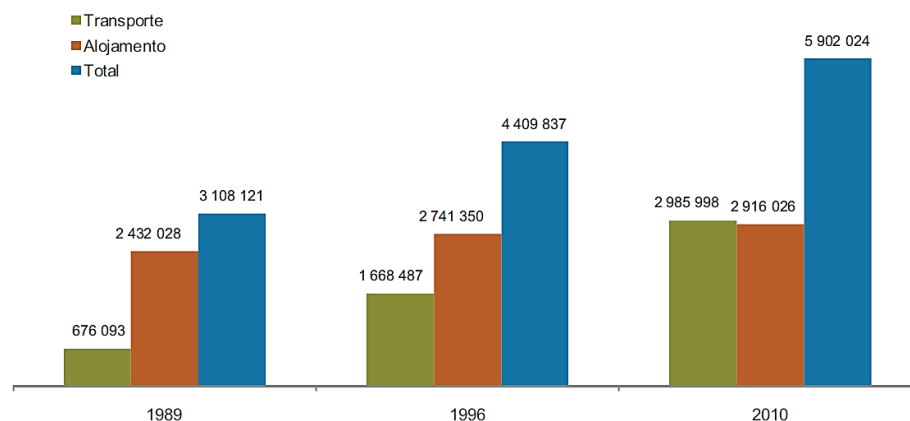


Figura 2.6: Evolução dos consumos no setor residencial incluindo os consumos afetos ao transporte (valores em tep), retirado do ICESD 2010

serem dos maiores emissores de CO₂. Encontram-se ainda grandes alterações no tipo de combustível utilizado, destacando-se um elevado decréscimo no consumo de lenha com um aumento bastante notório do consumo de eletricidade, e ainda com um aumento notório da utilização de gás natural, como se pode comprovar no gráfico da Figura 2.7.

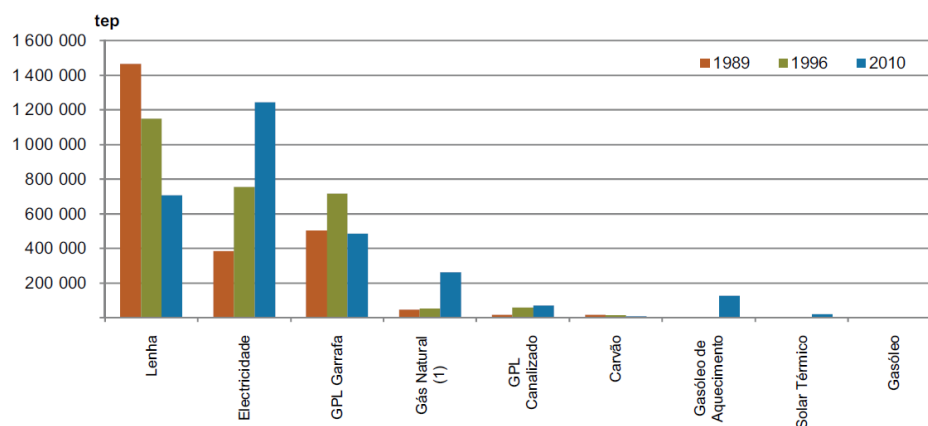


Figura 2.7: Evolução dos consumos por tipo de combustível de 1989 até 2010

No interior das habitações, é na cozinha que existe uma maior concentração dos consumos, com mais de um terço dos consumos totais seguido do consumo para aquecimento de águas sanitárias, como pode ser verificado na Figura 2.7. Apesar da entrada do gás natural no nosso país, o gás propano em garrafa ainda é o mais utilizado para AQS ao passo que na cozinha dominam os equipamentos elétricos. No plano residencial, a energia elétrica assume um papel muito relevante, uma vez que a maioria dos equipamentos presentes recorre a esta fonte de energia, estando a população cada vez mais dependente desta fonte. Facilmente se corrobora o anteriormente citado,

uma vez que a eletricidade aumenta os níveis de conforto térmico e existe uma variada gama de equipamentos elétricos que promovem também conforto e facilidades no quotidiano da população, levando a um maior consumo.

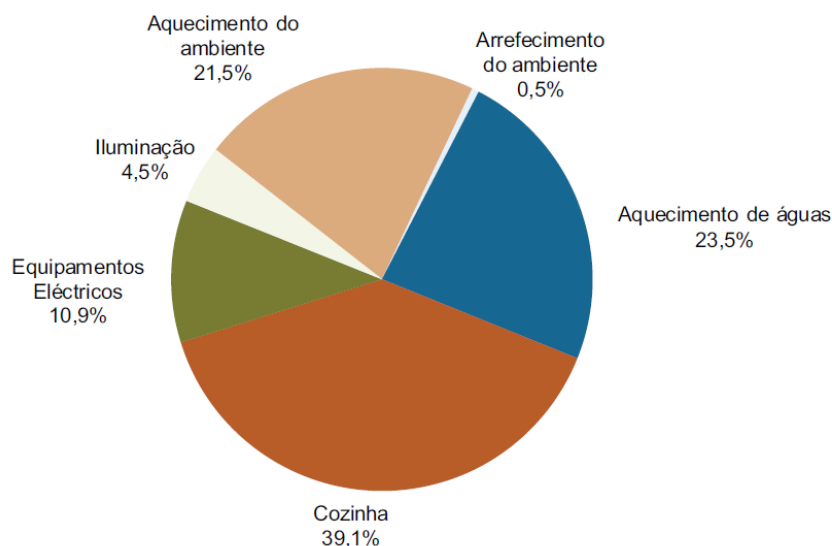


Figura 2.8: Consumos por tipo de energia no alojamento e por tipo de uso em 2010, ICESD 2010

Na tipologia “cozinha” constam os equipamentos de frio, tal como o frigorífico ou combinado, arcas congeladoras, micro-ondas, exaustor, máquinas de lavar loiça, lavar e secar roupa, já a tipologia “equipamentos elétricos” refere-se a equipamentos como o aspirador, aspiração central, ferro de engomar, desumidificador, televisões, computadores, etc. Em Portugal, verifica-se que a maioria das casas possui máquina de lavar roupa (90,7%) assim como mais de metade (58,3%) dos alojamentos possui um frigorífico com congelador, como se pode verificar no gráfico da Figura 2.9.

Na gama dos pequenos eletrodomésticos, podem ser encontrados na maior parte das habitações os ferros de engomar (92,1%) assim como os micro-ondas (82,8%) e aspiradores (74,9%), como pode ser comprovado pela Figura 2.10.

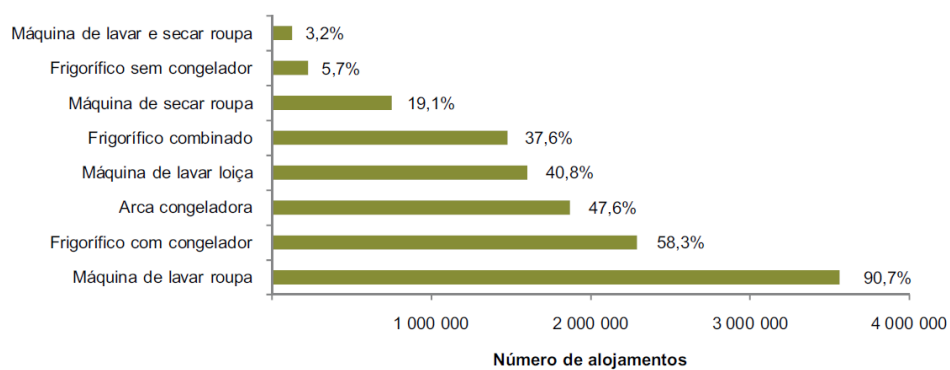


Figura 2.9: Alojamentos que utilizam grandes electrodomésticos por tipo de equipamento, ICESD 2010

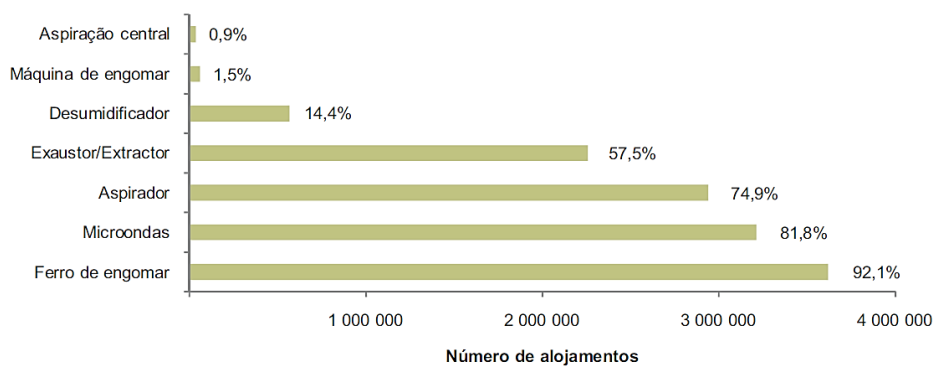


Figura 2.10: Alojamentos que utilizam pequenos eletrodomésticos por tipo de equipamento, ICESD 2010

Capítulo 3

Monitorização dos Consumos

A monitorização de consumos passa por através de *hardware* e *software* dedicados conseguir obter os consumos dos mais variados aparelhos elétricos ou consumos de água e gás, com uma boa aproximação, tendo em vista caraterizar de forma detalhada as condições de funcionamento.

Recorrendo à monitorização dos consumos energéticos é possível elevar os níveis de eficiência energética de uma habitação, pela determinação das máquinas mais dispendiosas, das causas dos picos energéticos, das más utilizações de energia, dos possíveis defeitos nos aparelhos e por constituir uma interface de comunicação para o utilizador final ou empresa de serviços energéticos, capaz de ser estudada e levando a que surjam medidas de eficiência energética ajustadas. Pela observação da energia consumida, pelo custo imediato e impactos ambientais associados, é assim criada uma cultura de consciência energética, incentivando os consumidores a uma redução nos seus consumos e posterior redução da fatura energética. Os resultados poderão ser bastante úteis para diferentes entidades, entre elas, o próprio consumidor final (obtendo o padrão de consumo e identificação de possíveis intervenções para melhorias energéticas, responsáveis por auditorias energéticas e durante as certificações energéticas, entidades públicas, edifícios de serviços e até fabricantes de aparelhos.

3.1 Conceitos Importantes

3.1.1 Assinatura elétrica de uma carga

Uma assinatura elétrica é definida como o comportamento elétrico de um aparelho/equipamento individual quando este se encontra operacional. À semelhança da impressão digital humana, cada aparelho elétrico possui comportamentos únicos de consumo que permitem então extrair estas características, dependendo obviamente do que o sensor for capaz de processar. As variáveis alvo são normalmente tensão, corrente ou potência, mas poderão também ser harmónicos ou até ruído de sinal. A assinatura apresenta-se como a unidade básica do processo de monitorização não intrusiva.

3.1.2 Baixa frequência ou caraterísticas macroscópicas

Qualquer assinatura elétrica de uma carga ou conjunto de assinaturas com período de amostragem mais lento que 1 amostra por ciclo (1 Hz) é considerada caraterística macroscópica, ou seja, utilizando baixas frequências. As baixas frequências aplicam-se em vários métodos, nomeadamente na extração da potência ativa, potência reativa, valores eficazes da tensão e corrente.

3.1.3 Alta frequência ou caraterísticas microscópicas

Qualquer assinatura elétrica de uma carga ou conjunto de assinaturas recolhidas utilizando um período de amostragem mais rápido que 1 amostra por ciclo (ou seja, 1 Hz) é considerada caraterística microscópica, ou seja, utilizando altas frequências. Os sistemas de aquisição de dados a altas frequências têm custos superiores e necessitam de uma maior capacidade de armazenamento de dados.

3.1.4 Evento

Um evento corresponde a uma mudança de estado de uma carga, podendo ser esta resultante de um comando manual ou automático. Um evento causará uma alteração nos consumos, existindo alterações de potência ativa e reativa podendo ocorrer ainda fenómenos transitórios, tais como harmónicos, capazes de serem utilizados como assinaturas elétricas.

3.1.5 Treino

O treino do sistema ou fase de aprendizagem é normalmente um pré requisito para a NILM (Non Intrusive Load Monitoring). Os métodos de treino poderão ser *online* ou *offline*. No caso do treino *online* as assinaturas são detetadas em tempo real, mas a atribuição das assinaturas a uma carga poderá ser um desafio complexo uma vez que se tem presente um conjunto agregado de valores das cargas. O treino *offline* adquire o sinal agregado de um aparelho para um determinado período sendo os aparelhos identificados a partir de uma base de dados de caraterísticas, já existente.

A fase de treino poderá ser um exercício bastante demorado e exaustivo quando se está perante uma situação real, necessitando de intervenção e supervisão humana, sendo este um dos fatores mais limitadores da NILM.

3.1.6 Algoritmo de desagregação

Os algoritmos de desagregação dos consumos analisam os dados de consumo medidos numa determinada instalação, decodificando-os e estimando quais os aparelhos ou classes de aparelhos elétricos responsáveis por esses consumos. Existem várias formas de desagregação dos consumos, neste documento são abordados todos os algoritmos no âmbito da monitorização não intrusiva, ou seja, com apenas um sensor global. Em traços gerais, os algoritmos recebem o sinal composto

por várias assinaturas elétricas decodificando e identificando as cargas envolvidas sendo assim possível quantificar os seus consumos e a sua duração.

3.1.7 Cargas com Consumo Permanente

Cargas com consumo permanente são todas as cargas que se encontram ligadas 24 horas por dia, 7 dias por semana com um consumo aproximadamente constante de energia ativa e reativa.

3.1.8 Cargas On/Off

Cargas On/Off Todas as cargas que tipicamente se encontram num dos dois estados, ligadas ou desligadas. Normalmente têm também dois patamares distinguíveis de consumo, em que um deles não apresenta consumo, variando normalmente apenas o tempo de cada um dos estados.

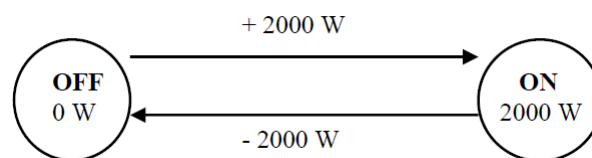


Figura 3.1: Representação de cargas com apenas dois estados.

3.1.9 Cargas de estados finitos (também comumente Máquina de estados finitos)

A definição anterior leva à definição das máquinas de estados finitos para 3 ou mais estados possíveis. Todas as cargas possuem patamares discretos de consumo bem definidos de estados ativos e mudanças de estado. O tempo de funcionamento de cada estado será variável consoante a carga em questão.

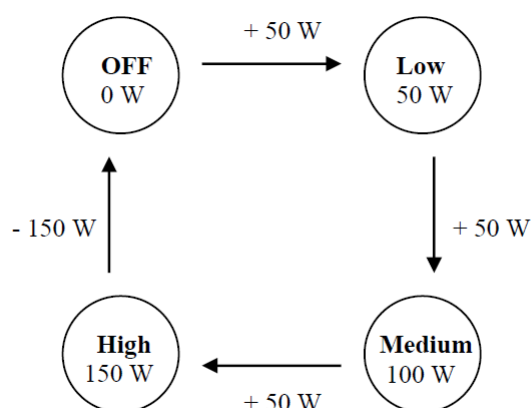


Figura 3.2: Representação de cargas com quatro estados.

3.1.10 Cargas Não Lineares ou cargas de consumos variáveis

Este tipo de cargas não obedece às definições anteriores, em que existem consumos por níveis mas sim um consumo variável ao longo do tempo quando a carga está em funcionamento. Neste tipo de cargas o consumo e duração durante o estado de funcionamento são variáveis e não lineares.

3.2 Estado da Arte

A monitorização dos consumos energéticos de um edifício pode ser conseguida recorrendo a métodos intrusivos e a métodos não intrusivos. Nos métodos intrusivos é requisito a instalação de sensores para recolha de dados em cada um dos aparelhos alvo de medição. Estas medições poderão ser efetuadas instalando dispositivos nas tomadas elétricas existentes, por total substituição das tomadas comuns, utilizando *smart-meters* ou por utilização de pinças que envolvam os cabos elétricos de alimentação dos aparelhos. As medições podem também confinar-se a alguns aparelhos alvo, a toda a habitação ou apenas aos setores mais importantes. Os métodos não intrusivos, também designados NILM (*Non Intrusive Load Monitoring*) e NIALM (*Non Intrusive Appliance Load Monitoring*, por vezes apenas NALM) são métodos que guardam valores de consumo de cada utensílio elétrico sem necessitar de um medidor para cada uma das aplicações, utilizando-se apenas um único ponto de medição, normalmente instalado no quadro principal da residência.

Com as NILM conseguem-se os dados de consumo desagregados recorrendo a algoritmos avançados que recorrendo a vários métodos existentes identificam os aparelhos consumidores pelo reconhecimento de características únicas de funcionamento. A monitorização intrusiva leva a um encarecimento, quer pelo número de aparelhos, quer pela instalação que se torna mais complexa quando comparada com métodos não intrusivos. Tem-se assim um confronto entre *hardware* e *software*, sendo a monitorização intrusiva altamente dependente das potencialidades do *hardware* instalado, e por sua vez as NILM baseiam o seu funcionamento acima de tudo em *software* altamente dedicado e especializado para a monitorização do comportamento elétrico dos dispositivos.

3.2.1 NILM

As NILM são técnicas para deduzir o consumo de cargas e o seu respetivo programa de funcionamento quando integradas num edifício por medição das correntes e tensões e usando tecnologias de informação e comunicação para recolha, análise e gestão dos dados.

Recorrendo a uma análise sofisticada das ondas de corrente e tensão da carga total, é possível com as NILM estimar o número e natureza das cargas individualmente, a sua energia consumida, entre outros parâmetros importantes. A monitorização não intrusiva poderá também ser uma alternativa aos *smart-meter* uma vez que estes assentam no princípio de uma comunicação bidirecional, havendo necessidade de substituição dos atuais contadores, e ainda devido a esta tecnologia não ter sido completamente aceite a nível social e pelos consumidores.

Os métodos NILM existentes baseiam-se em diferentes técnicas de análise de sinal, mas todas utilizam princípios similares. É o caso das “assinaturas”, que tal como a impressão digital de um

humano é única, ou seja, diferente entre indivíduos, também nestes métodos elas serão e terão de ser caracterizadas matematicamente. Existe a necessidade de instalação de *hardware*, sensores e sistemas de aquisição de dados. Serão ainda necessários algoritmos matemáticos avançados que consigam detetar todos os equipamentos presentes no sinal alvo.

Podem dividir-se os métodos em dois grandes grupos, os métodos que utilizam as baixas frequências (ou características macroscópicas) e as altas frequências (ou também designadas características microscópicas). Define-se como alta frequência, quando a frequência de amostragem é superior a 1 Hz [17].

3.2.1.1 Monitorização recorrendo às baixas frequências

Normalmente os equipamentos que trabalham com baixas frequências, são também aqueles com um custo mais reduzido, e exemplos destes poderão ser o The Energy Detective ou o Energy Box da Edp. Com este tipo de equipamentos serão geradas assinaturas macroscópicas. Para métodos assentes em sistemas de aquisição de dados de baixa frequência podem avaliar-se:

- Alterações na Potência ativa e reativa;
- Alterações na Potência ativa e reativa com assinaturas macroscópicas adicionais;
- Alterações na Potência ativa;

Alterações na Potência Ativa e Reativa A primeira proposta de método NILM a surgir foi desenvolvido por George Hart no MIT [17] [18] na década de 80, e usava precisamente as alterações da potência ativa e reativa como parâmetros a medir para classificar os vários eventos dos dispositivos elétricos presentes no alojamento. No algoritmo constavam quatro categorias:

1. Aparelhos consumo permanente;
2. Aparelhos com funcionamento On/Off;
3. Máquinas de estado finito;
4. Máquinas elétricas de consumo variável não periódico.

Na categoria dos aparelhos com consumo permanente podem considerar-se a título de exemplo alarmes de incêndio e alguns equipamentos dedicados às comunicações, sendo que estes aparelhos funcionam 24 horas por dia, 7 dias por semana com uma potência ativa e reativa aproximadamente constantes. Na segunda categoria podem considerar-se equipamentos de utilização esporádica tal como torradeiras ou lâmpadas. Na terceira categoria são incluídos os equipamentos que passam por um número definido de estados de transição e em que o seu ciclo de funcionamento é repetido frequentemente ao longo de um período de tempo. Como exemplos desta categoria podem enunciar-se as máquinas de lavar e secar roupa, ou máquina de lavar loiça. Por último, as máquinas com consumo variável não possuem um padrão de funcionamento definido, com consumos e estados variáveis tais como as ferramentas elétricas.

O algoritmo em questão consegue apenas fazer a identificação para as categorias (2) e (3), uma vez que neste sistema o horário de funcionamento de cada dispositivo elétrico é determinado apenas pela alteração da potência ativa e reativa de um patamar constante, para outro também ele constante. À comutação entre dois estados diferentes chama-se “evento”, que é caracterizado por uma magnitude e sinal de variação nas potências ativas e reativas.

A versão de NALM proposta pelo MIT inclui 5 passos bem definidos:

1. Um sensor identifica alterações no estado estacionário;
2. O algoritmo localiza estas alterações num plano bidimensional com os eixos variação da potência ativa, variação da potência reativa (ΔP - ΔQ). Esta constitui apenas uma simples análise gráfica, mas é dos métodos mais utilizados nos sistemas de NILM.
3. São agrupados os *clusters*¹ positivos e negativos com magnitude semelhante.
4. Nesta fase, são resolvidos todos os problemas de paridade que possam ter existido, com o objetivo de garantir que todos os eventos são associados ao seu par ou a um novo *cluster*.
5. Por fim, os pares de *clusters* são associados a um consumo de uma carga conhecida de forma a determinar a contribuição de cada uma das cargas.

Para que possam acontecer os passos anteriores, é preciso esta técnica passar por um estado “intrusivo”, na medida em que precisa de passar por um processo denominado “treino de procedimento”, em que é feito o reconhecimento das várias cargas e atribuídas as respetivas assinaturas. Depois desta fase o algoritmo conseguirá assim distinguir com uma elevada precisão os eventos. Poderá também existir a possibilidade de utilizar dados históricos para identificar os eventos, evitando assim a intrusão.

Este método necessita ainda de uma normalização, uma vez que o algoritmo não reage bem face a flutuações na potência, assim, para reduzir estes efeitos causados pela flutuação da tensão, Hart propôs a equação 3.1:

$$P_{norm}(t) = \left[\frac{120}{V(t)} \right]^2 \times P(t) \quad (3.1)$$

Todo o processo referido anteriormente encontra-se sintetizado na figura 3.3 para um melhor entendimento:

Alterações na Potência Ativa e Reativa com assinaturas macroscópicas adicionais Ainda no MIT, procurou-se desenvolver e estender o estudo das NILM e, utilizando o sinal elétrico de um edifício industrial [19], descobriu-se que por um lado a potência reativa era muito reduzida e que por outro a duração dos eventos transitórios, especialmente a partir do ponto inicial, poderia ser

¹ Cluster: conjunto de pontos/dados que partilham condições semelhantes.

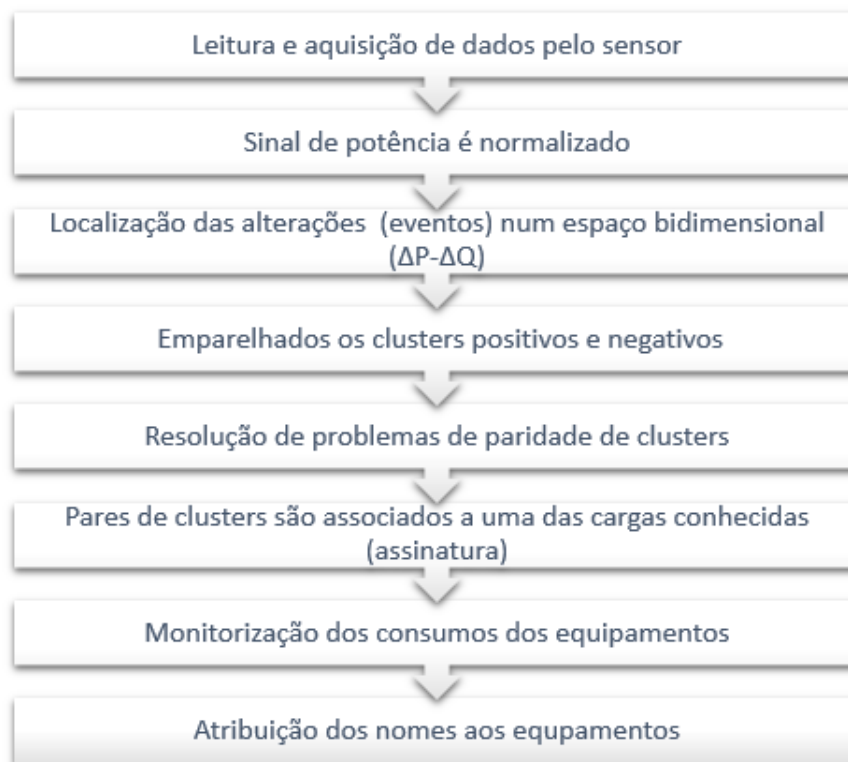


Figura 3.3: Esquema representativo do processo de funcionamento da técnica NILM proposta por Hart.

relativamente longa, na ordem das centenas de segundos. Para compensar esta falta de presença de potência reativa, até porque o algoritmo inicial (descrito no ponto anterior) requer uma potência reativa não nula, são consideradas as formas dos eventos transitórios como característica adicional.

Mais tarde apareceu ainda uma extensão ao método proposto pelo MIT, por Cole e Albicki, especialmente dedicada aos equipamentos com picos de potência relevantes, tais como os frigoríficos, máquinas de lavar ou bombas de calor. Nesta extensão são usadas como assinaturas adicionais, o pico inicial ascendente da potência e a lenta variação que ocorre durante a ligação dos eventos[18].

Encontram-se ainda versões mais recentes deste algoritmo para mitigar os problemas de detecção de aparelhos multi-estado e de consumos variáveis. Por exemplo em [20] e [21], Hart e respetivos autores sugerem um método de detecção e monitorização para aparelhos da 3ª categoria (Máquinas de estados finitos).

Alterações apenas na Potência Ativa Estes métodos são já diferentes do método original da autoria do MIT, que se baseia na leitura da potência ativa e reativa dos componentes. Um método que faça apenas leitura potência ativa pode ser interessante, uma vez que a leitura da potência

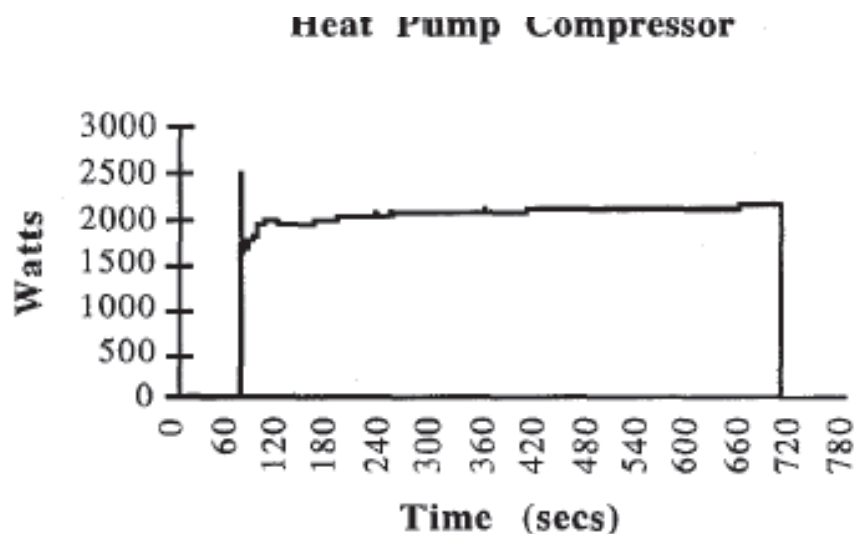


Figura 3.4: Perfil de uma bomba de calor exemplificativo do pico inicial e do estado linear nos segundos seguintes.

reativa leva a um aumento do custo. Acredita-se assim que um método NILM poderá apenas fazer leitura de potência ativa, sendo mais barato, mas mesmo assim com uma boa eficiência.

O método HELP (Heuristic End-Use Load Profiler)[18] constitui um método que deteta as alterações apenas na potência ativa e destina-se a desagregar grandes cargas, tais como o Ar-Condicionado ou uma bomba de calor, usando amostras esparsas de uma leitura a cada 15 minutos. Faz a leitura de toda a habitação e grava a ocorrência assim como altura em que esta ocorreu e sua respetiva magnitude. O algoritmo determinará depois a que cargas correspondem os eventos lidos, baseando-se no comportamento diário dos utilizadores e nos padrões de funcionamento dos equipamentos. Este método não se encontra ainda muito disseminado, e como tem uma frequência de leitura muito baixa pode levar a que algumas cargas não sejam notadas, falhando leituras.

Na Universidade de Concordia [22] foi também desenvolvido um método com uma frequência intermédia entre o anteriormente citado e o do MIT, em que se regista a cada 16 segundos. Com este método pode esperar-se uma precisão aceitável, na ordem dos 80%, mas necessita de um prévio treino intensivo do algoritmo para se conseguir o reconhecimento dos padrões de funcionamento. Esta necessidade resulta de aliado à deteção das alterações na potência ativa, o método usa ainda algoritmos com um conjunto de regras específicas para a deteção de cada um dos equipamentos, em que algumas dessas regras não são intuitivas e imediatas. Nesta versão do método, todas as regras são unidas por um sistema arbitrário de pontuação formando assim o padrão de reconhecimento. Este trabalho foi realizado com o intuito de demonstrar que os dados dos consumos podem ser obtidos a partir dos consumos de toda a habitação aplicando um método mais desenvolvido de reconhecimento de características por uma amostragem rápida da corrente de entrada ao nível do quadro principal da mesma.

Este método foi ainda alvo de melhoria pelos mesmos autores [23]. Nesta extensão, a frequência mantém-se mas foi abandonado o sistema arbitrário de pontuação anteriormente citado, utilizando-se um filtro e alisamento do sinal dos eventos on/off, à semelhança do método proposto pelo MIT. Na situação em que um evento seja perdido por uma falha de registo ele pode ser reconstruído e dois aparelhos com consumos próximos podem ser separados, devido ao período de treino em que os consumos dos aparelhos medidos passam por testes de consistência e análise estatística. A extensão do método permitiu fixar a eficiência em 90% mas tem como desvantagem a necessidade de um exaustivo período de treino.

Para os métodos baseados em alterações da potência ativa pode ainda enunciar-se o método de Baranski [24] [25] [26], criado por Baranski e Voss, baseado num medidor de potência convencional e num sensor ótico bastante económico que faz medições com uma frequência de 1 Hz à potência real. Diferencia-se dos outros métodos pela exclusão do período de treino do algoritmo, baseando-se num histograma com dados históricos de consumo. Este método utiliza um algoritmo de otimização para encontrar um elevado número de estados de ligação/desligação ao mesmo tempo. Em termos de fiabilidade, este consegue uma precisão próxima da encontrada para o método desenvolvido no MIT. A solução ótima poderá não ser encontrada pela utilização do algoritmo genético como algoritmo de otimização. Este método apresenta-se como uma alternativa com um custo bastante inferior à maioria, pela utilização de sensores óticos, que têm apenas a desvantagem de não conseguir leituras tão precisas quanto as dos analisadores comuns.

3.2.1.2 Monitorização recorrendo às altas frequências

No ponto anterior foram abordados os métodos que recorrem a sistemas que detetam apenas as características macroscópicas dos sinais, mas para ser conseguida uma melhor precisão na deteção e monitorização dos equipamentos é interessante adicionar características microscópicas do sinal elétrico, ou seja, utilizar também as altas frequências. Entenda-se como características microscópicas, neste contexto, os harmónicos e as formas de onda do sinal e em que as características macroscópicas referem-se às alterações na potência anteriormente abordadas. Como normalmente harmónicos superiores à 11ª ordem não são utilizados tem de ser utilizada uma amostragem mínima de 1.2 a 2 kHz para capturar as características microscópicas.

Harmónicos e transformada de Fourier

Harmónicos de corrente para eventos transitórios Ainda no MIT, procurou-se evoluir o algoritmo NILM incorporando harmónicos aplicando-se apenas esta análise aos sinais transitórios no sentido de obter um melhor desempenho e de não tornar este método computacionalmente tão pesado [27].

Esta variante utiliza envolventes espectrais para identificar o sinal, recorrendo a um vetor que contem os primeiros coeficientes da transformada rápida de Fourier (FFT) do sinal [18]. Este método aplica-se também a equipamentos com cargas variáveis ou velocidades variáveis. A deteção

deste tipo de equipamentos é sem dúvida uma das grandes potencialidades do método mas, apesar disso, não basta a identificação, será também necessária a quantificação dos consumos.

Em trabalhos mais recentes foram consideradas relações entre o quinto e sétimo harmónico e as potências ativas/reativas a serem consumidas por um equipamento com regulação de velocidade [28]. No caso de as relações serem suficientemente fortes, podem ser definidas por uma função polinomial utilizando o método dos mínimos quadrados [29], sendo as assinaturas comparadas com as presentes na base de dados. O evento detetado é atribuído ao dispositivo eléctrico cuja assinatura origina a menor soma dos resíduos [30]. Apesar de já se encontrar praticamente no limite de desenvolvimento, tem várias desvantagens:

- Necessário um treino excessivo por cada equipamento eléctrico;
- Precisão não foi caracterizada para um elevado número de cenários;
- Não se tem noção da robustez do método ou se a entrada de um novo equipamento afetará a performance do algoritmo.

Harmónicos de corrente para eventos estacionários No seguimento do trabalho anterior, como alguns eventos transitórios são inevitavelmente perdidos e alguns não transitórios serão considerados como tal, levou a que os investigadores [31] considerassem os harmónicos também relativos aos estados estacionários, utilizando uma técnica de monitorização baseada no cálculo contínuo dos harmónicos de sinal.

Para este efeito foi utilizada uma rede neuronal para a deteção dos eventos, uma vez que uma monitorização contínua implica que mais que um equipamento esteja presente ao mesmo tempo no sinal, sendo assim necessária a desagregação de cargas ou então o sistema ser previamente treinado para todas as combinações possíveis.

As redes neuronais utilizadas são treinadas para extrair as características principais da forma de onda de corrente no sentido de obter a assinatura eléctrica dos vários equipamentos, utilizando para isso os harmónicos presentes em cada uma destas. Neste método foram desenvolvidos vários modelos de classificação: *multilayer perceptron* (MLP), *Radial Basis Function Network* (RBF) e *Support Vector Machines* (SVM). De todos estes, apesar de com o MLP e RBF se conseguirem resultados bastante aceitáveis, foi com o SVM que se conseguiu um melhor funcionamento e para o qual concluíram ser o mais vantajoso pela maior precisão e menor esforço computacional.

A rede neuronal anteriormente citada recebe 16 sinais de entrada, sendo que os ímpares (ou seja, quando $i = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13$ e 15) representam a parte real e os pares (quando $i = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16$) representam a parte imaginária do sinal de corrente. As entradas são dadas pelas expressões 3.2 e 3.3, e na figura 3.5, encontra-se o vetor que identifica uma determinada carga, ou seja, a sua assinatura eléctrica

$$x_i = I_{\frac{(i+1)}{2}} \cos \phi_{\frac{(i+1)}{2}}, \text{ para as entradas pares} \quad (3.2)$$

$$x_i = I_{\frac{i}{2}} \sin \phi_{\frac{i}{2}}, \text{ para as entradas impares} \quad (3.3)$$

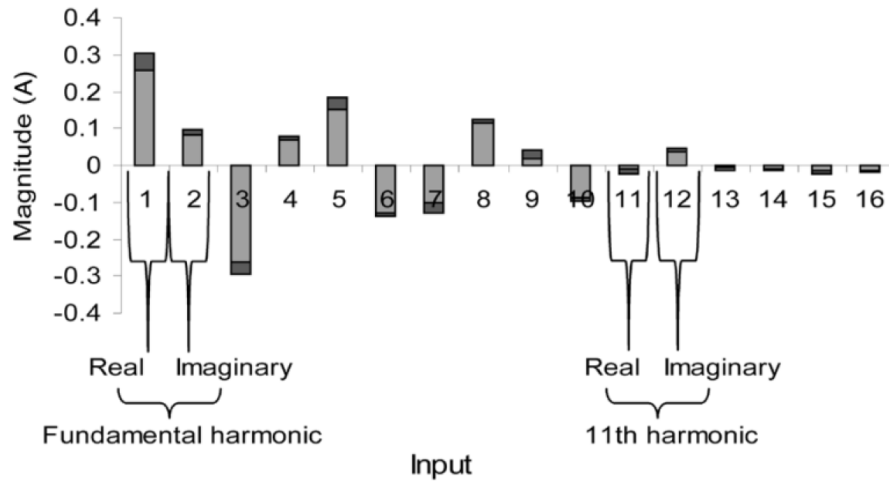


Figura 3.5: Vetor de identificação de caraterísticas.

Este método poderá não ser muito vantajoso, uma vez que o aumento do número de dispositivos aumentaria em muito o número de combinações possíveis ($2n$ em que n será o número de equipamentos presentes na habitação, em que o seu estado possa ser on ou off). Numa habitação, como existem cada vez mais equipamentos, por vezes na ordem dos 30 a 50 dispositivos elétricos, este método poderá até tornar-se impraticável. Outra das desvantagens é aplicar-se apenas aos estados estacionários, não havendo aplicação para estados transitórios ou outros.

Harmónicos para aparelhos não lineares Este método é aplicável a cargas não lineares, uma vez que têm um bom conteúdo harmónico reunindo assim condições para ser utilizado como método de deteção de assinaturas elétricas. Como não é fácil nem rentável preservar em memória a forma de onda dos harmónicos de corrente, são guardados apenas os espectros de frequência para essa assinatura. Nesta pesquisa é utilizada a transformada rápida de Fourier (FFT), sendo bastante similar à utilizada no método desenvolvido pelo MIT.

Em aplicações em tempo real, quando um dispositivo liga irá produzir uma mudança incremental na forma de onda da corrente que irá introduzir por consequência incrementos na potência ativa e reativa. Posto isto, da transformada de frequência irá resultar uma assinatura única. Neste método é aplicado um algoritmo de máxima verosimilhança para ser capaz de identificar o dispositivo em questão. Como exemplos de cargas não lineares poderão referir-se os ventiladores ou lâmpadas fluorescentes compactas [32].

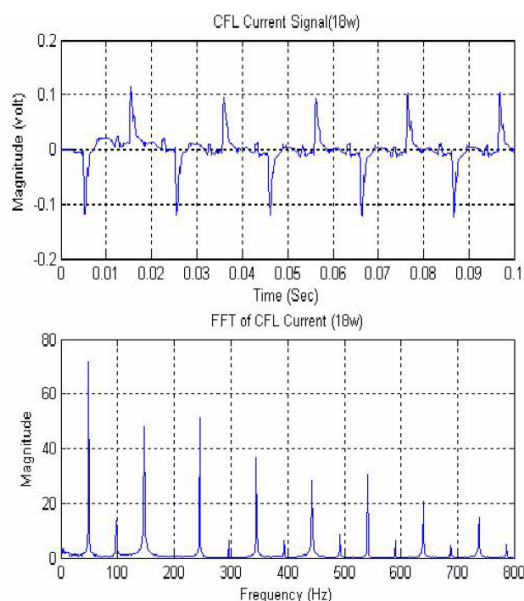


Figura 3.6: Sinal de corrente e FFT de uma Lâmpada Fluorescente Compacta em tempo e frequência.

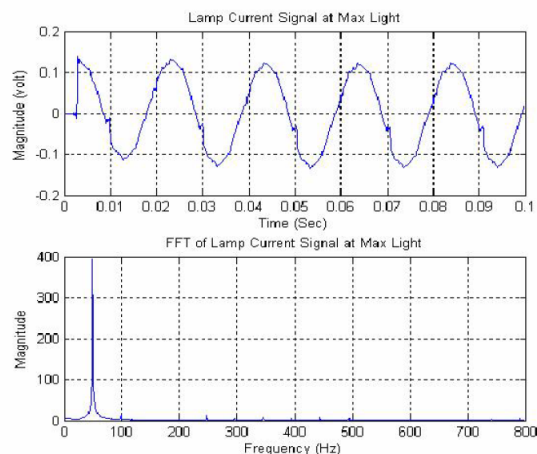


Figura 3.7: Sinal de corrente e FFT de uma lâmpada com reóstato quando está no brilho máximo.

Por observação das figuras (3.6 e 3.7) pode verificar-se que existe uma grande diferença nas formas de onda da corrente, assim como no conteúdo harmónico, conseguindo-se facilmente identificar e diferenciar os equipamentos.

Transformada de Fourier do Ruído do sinal de tensão A utilização do ruído como complemento à monitorização recorrendo às características macroscópicas é um conceito inovador de NILM [33]. Este apresenta-se como uma alternativa de baixo custo e de fácil instalação. A FFT do ruído foi utilizada como característica e o sistema necessitava de treino por cada aparelho eléctrico e por cada combinação, sendo os resultados obtidos muito próximos dos obtidos para os outros métodos, conseguindo-se uma boa estabilidade com uso a longo prazo. Os autores referem que apenas se concentraram nas amplitudes das componentes da frequência, mas que deveriam também ser consideradas no futuro as diferenças entre fase entre as frequências dos componentes como parte da extração de características. Estes consideram ainda que alguns erros podem ser induzidos aquando a ligação de aparelhos com características similares pois os ruídos transitórios somados podem gerar vetores diferentes, podendo inclusive ser necessário treino para este tipo de eventos. Esta variante possui algumas desvantagens uma vez que exige um grande esforço computacional para capturar e analisar o ruído dos transitórios e, pelo que foi atrás descrito, necessita de muito treino prévio por cada aparelho.

A acrescentar ainda existe uma dependência da cablagem, uma vez que este método, ao contrário do que acontece noutros, pode adquirir os dados em qualquer tomada do edifício, por estar o ruído no sinal presente em qualquer parte da instalação. Assim, uma canalização muito longa pode levar a que o ruído não atinja o analisador ou não chegue nas melhores condições. Um dos

problemas também mencionados é o de que como se está a trabalhar com ruídos, o facto de se ligar um equipamento a uma tomada ou uma extensão pode gerar ruídos diferentes e assim resultados também diferentes, sendo por isso este método mais indicado para aparelhos que mantenham as suas posições e que utilizem as mesmas tomadas. Existe ainda o problema das interferências eletromagnéticas causadas por alguns equipamentos introduzindo ruídos prejudiciais às leituras do método.

Os mesmos autores, abandonaram esta solução e utilizaram interferência eletromagnética de alta frequência originária de SMPS (*Switch Mode Ppower Supplies*, em português, fontes de alimentação comutadas) que está presente em muitos dos produtos de eletrónica atual e lâmpadas fluorescentes. Com este estudo demonstraram conseguir uma precisão de 93,82% de identificação das cargas, estudo este realizado em 7 habitações durante 6 meses [34].

Além da transformada de FFT Em França, num estudo independente do MIT, foi desenvolvido um método por Sultanem [18] também ele baseado no mesmo princípio do método usado no MIT, com leitura de potência ativa e reativa em conjunto com a normalização já anteriormente referida e como complemento, foi usada a duração dos eventos transitórios e harmónicos. Não existem ainda muitas informações sobre o algoritmo assim como sobre a sua performance e precisão.

Outros autores (Chan et all) [35] propuseram a utilização da transformada contínua de wavelet (pequena onda) em detrimento da FFT, sendo considerada vantajosa a transformada de wavelet na medida em que permite retirar simultaneamente tempo e frequência. O método permite reduzir o tamanho do vetor necessário, levando a um menor esforço computacional, este métodos foi considerado promissor e mais preciso que o de FFT, faltando apenas ser testado num método sistemático de NILM.

Em situação semelhante encontra-se a utilização das propriedades geométricas das curvas V-I como assinaturas, em que as curvas são utilizadas sem referência temporal, sendo posteriormente caracterizadas e comparadas [36][37]. As curvas V-I são construídas a partir dos sinais de tensão e corrente obtidos ao longo de um ciclo quando o consumo energético dos equipamentos se encontra no estado estacionário. Este método poderá até ser bastante promissor na deteção das assinaturas das várias cargas, por se basear em diferentes características das formas de onda. No processo são utilizadas 8 características das curvas V-I: assimetria, sentido da curva, área, curvatura da linha média, cruzamento da própria curva, declive do segmento intermédio, área à esquerda e à direita e ainda o pico do segmento médio. Assim, a assimetria deteta trajetórias de cargas que não tem a mesma corrente nos ciclos positivos e negativos, podendo ser observado o exemplo para um secador de cabelo na figura 3.8.

O sentido da curva permite identificar quando a corrente está adiantada em relação à tensão (direção dos ponteiros do relógio), ou quando está atrasada em relação à tensão (direção contrária aos ponteiros do relógio) ou quando estão em fase, sendo assim representada apenas por uma linha, como se pode observar na figura 3.9.

A magnitude da área é proporcional à magnitude da defasagem entre tensão e corrente, sendo assim a magnitude da área maior quanto maior a magnitude da defasagem, como é observável na

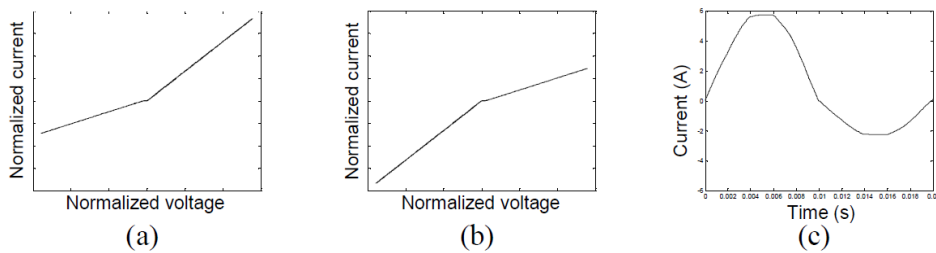


Figura 3.8: (a) Trajetória original, (b) Trajetória rodada, (c) Forma de onda da corrente relativa a um secador de cabelo em modo de baixa potência.

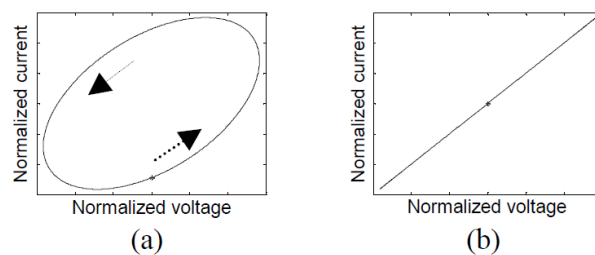


Figura 3.9: (a) Trajetória sentido contrário dos ponteiros do relógio com um atraso da corrente em relação à tensão de um ângulo de fase $\pi/3$, (b) Trajetória na forma de uma linha reta.

figura 3.10.

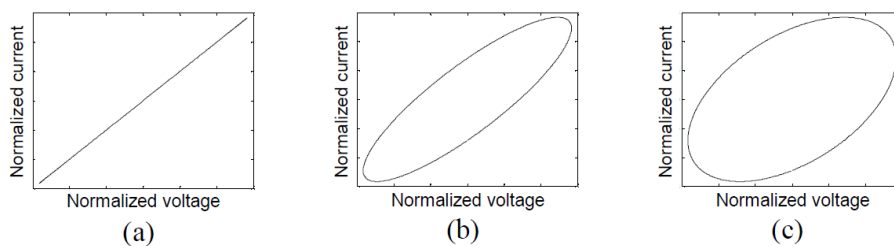


Figura 3.10: Três trajetórias com diferentes defasagens. (a) sem defasagem; (b) defasagem de $\pi/6$; (c) defasagem de $\pi/3$.

A não linearidade de uma carga pode ser medida utilizando a curvatura da linha média, sendo comparada com uma linha reta. Este fenómeno está também associado à presença de harmónicos. Para um aspirador pode, por exemplo, verificar-se que a sua linha média é uma linha curva, pela presença importante do terceiro harmónico como se pode observar na figura 3.11.

Para estas aplicações não lineares, poderá até acontecer as trajetórias das curvas intersestarem-se consigo mesmas, sendo que o número de interseções está relacionado com a ordem do harmónico presente na carga. Na figura 3.12, pode verificar-se que quanto maior a ordem harmónica,

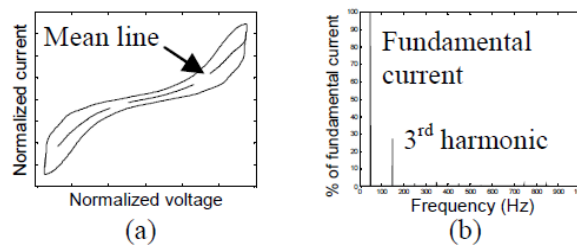


Figura 3.11: (a) Trajetória de um aspirador e a sua linha média (linha segmentada); (b) Terceiro harmónico num aspirador.

mais interseções podem ser encontradas. O declive do segmento médio é útil na distinção das cargas oriundas de eletrônica de potência de outras cargas, uma vez que estas últimas não têm segmento médio horizontal.

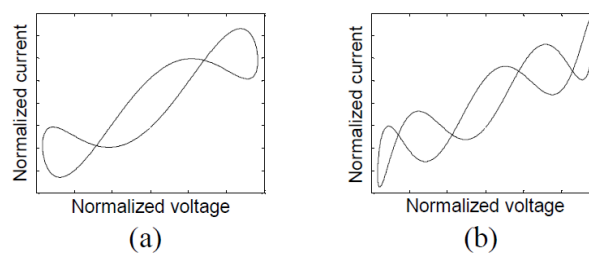


Figura 3.12: (a) Simulação de trajetórias:duas intersecções; (b) Simulação de trajetórias:quatro intersecções.

Associado ao mesmo tipo de cargas, está também a área à esquerda e à direita, pois estas são usadas na distinção deste tipo de equipamentos. Por fim o pico do segmento médio é também usado pois são típicos de alguns aparelhos eletrônicos, como é o caso de televisões LCD ou carregadores de baterias que possuem um importante pico neste segmento e que os distingue. Este fenómeno pode ser visto na figura 3.13.

Também foi considerada a opção de uma composição de várias características microscópicas, método este proposto pelos mesmo autores do método das propriedades geométricas das curvas. Com este método espera-se atingir níveis de precisão superiores pela utilização da maioria das características microscópicas atrás citadas e ainda algumas inovadoras:

- Formas de onda do sinal;
- Alterações na potência ativa e reativa;
- Harmónicos;
- Forma de onda da admitância (curva V/I vs tempo);
- Forma de onda da potência (curva $V \cdot I$ vs tempo);

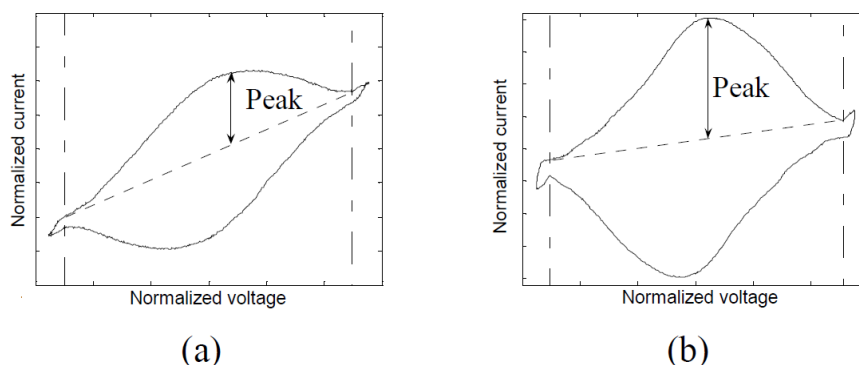


Figura 3.13: (a) Trajetória de um rádio; (b) Leitor de CD em modo de stand by.

- Forma de onda dos transitórios.

Neste método são utilizados três algoritmos de otimização diferentes em conjunto com redes neuronais como algoritmos de deteção. Este pode ser sem dúvida um método promissor, mas necessita ainda de bastante evolução e trabalho de investigação para detetar eficientemente as assinaturas dos equipamentos [38].

3.2.2 Tecnologias NILM

Muitas empresas do ramo energético têm apostado na monitorização dos consumos energéticos, inclusive empresas de transporte e distribuição de energia. Neste ponto serão abordadas algumas tecnologias existentes no mercado e que empregam os métodos focados anteriormente.

3.2.2.1 TED (The Energy Detective) 5000

O aparelho de monitorização de consumos TED 5000 consiste numa solução para o setor doméstico que permite o acesso aos consumos energéticos da habitação, recorrendo apenas a um sensor instalado no seu painel principal, conseguindo-se ainda a desagregação dos consumos por aparelho [39].

Existem duas soluções, em que a única diferença é apenas a presença de um *Display wireless* onde é possível acompanhar os consumos em tempo real, leituras de tensão e a fatura elétrica esperada. Esta solução é composta por um sensor transformador de corrente (TC) na forma de pinça que lê correntes de serviço até os 200A e possuindo uma precisão de 1 Watt. A esta pinça estará conectado uma unidade de medida e transmissão de dados (MTU, *Measuring Transmitting Unit*), que tal como o nome indica, recebe as leituras provenientes das pinças, calcula e transmite os dados para uma outra unidade que também faz parte do equipamento, a *Gateway*. A *Gateway* ficará encarregue de emitir os dados recebidos, via internet para uma plataforma com *software*, neste caso o “*TED Footprints Software*”. Poderá também ser utilizado o *Google PowerMeter* em detrimento deste último *software*, que se apresenta como uma maneira mais fácil de ter acesso aos registos.



Figura 3.14: Aparelho de monitorização TED 5000.

O *software* incluído nos produtos TED 5000 possibilita obter em tempo real os consumos de potência em kW e em dólares e ainda as emissões de CO₂ em libras. Poderá também obter-se os registos históricos de consumo para as várias horas do dia, ou dias ou até no ano anterior ou presente ano, ou obter por outro lado gráficos de consumo para o dia e na escala desejados. Tem ainda em conta a possibilidade de existirem na habitação energias renováveis, geração fotovoltaica ou eólica, sendo nestes casos necessário adquirir outro par de transformadores de corrente e um novo MTU. O *software* consegue ainda identificar os consumos até cinco cargas individualmente, reconhecendo a assinatura da carga criada quando esta se o liga ou desliga, guardando os patamares de potência que estas eventualmente poderão ter. Para isto o utilizador deverá “ensinar” o programa, criando um perfil para a carga e indicando os vários estados de ligação e de desligação, indicando ainda a percentagem de erro, ou melhor a flutuação de valores que o programa deverá utilizar para evitar assim leituras falsas. Considera-se que esta capacidade será mais indicada para cargas de alta potência, que mais facilmente são distinguíveis e que apresentam um funcionamento mais diferenciado.

O preço deste equipamento variará com o número de painéis elétricos ou circuitos a serem objeto de análise (com máximo de quatro painéis), e se o utilizador necessita ou não do *Display wireless*. Tipicamente vão desde os 199.95 dólares (150.41 euros) sendo este o equipamento mais básico composto por um par de TC, um MTU e um *Gateway* até 455.80 dólares (342.86 euros), sendo este último composto por quatro pares de TC, quatro MTU, um *Gateway* e um *Display wireless*.



Figura 3.15: Esquema de funcionamento do eMonitor.

3.2.2.2 eMonitor

Este aparelho de monitorização é muito semelhante ao anteriormente citado, sendo constituído também por uma pinça que se liga ao painel principal da habitação, comunicando esta por wireless com a *Gateway*, não necessitando neste caso do MTU que o equipamento anterior usava. A *Gateway* por sua vez, comunica com a rede *Wi-Fi* da habitação com ligação Internet. Existe ainda a possibilidade de acompanhar os consumos num *Display wireless*. Será ainda possível obter avisos e até consultar os consumos num *smartphone*. [40].

Esta solução permite monitorizar até 240 circuitos, conseguindo-se assim uma desagregação dos consumos muito superior à anterior. Podem ainda monitorizar-se vários circuitos independentes, havendo necessidade de adquirir outro eMonitor. É ainda possível a integração de energias renováveis, à semelhança do TED 5000. Esta solução apresenta uma instalação um pouco mais morosa e não tão fácil, precisando em princípio de um eletricista, uma vez que requer a instalação de vários sensores nos demais circuitos, com o conhecimento do que estes alimentam e das potências em cada um de modo a escolher os sensores mais adequados.

A grande desvantagem que se poderá encontrar nesta solução será mesmo o preço de subscrição do *software Footprints* de gestão dos dados, em que a licença dura apenas dois anos, variando ainda os preços consoante o número de circuitos a serem monitorizados e ainda se existe monitorização de energias renováveis. Os preços da licença vão desde os 173 dólares (130.03 euros) para 14 circuitos até 324 dólares (243.52 euros) para 44 circuitos. Cada 24 circuitos adicionais têm o custo de 108 dólares (81.17 euros). O pacote mais barato desta solução denominado eMonitor 4-14 custa aproximadamente 299.89 euros, constituído por dois TC de 150A, seis TC de 50A, e seis TC de 20A [41].

3.2.2.3 PowerCost Monitor

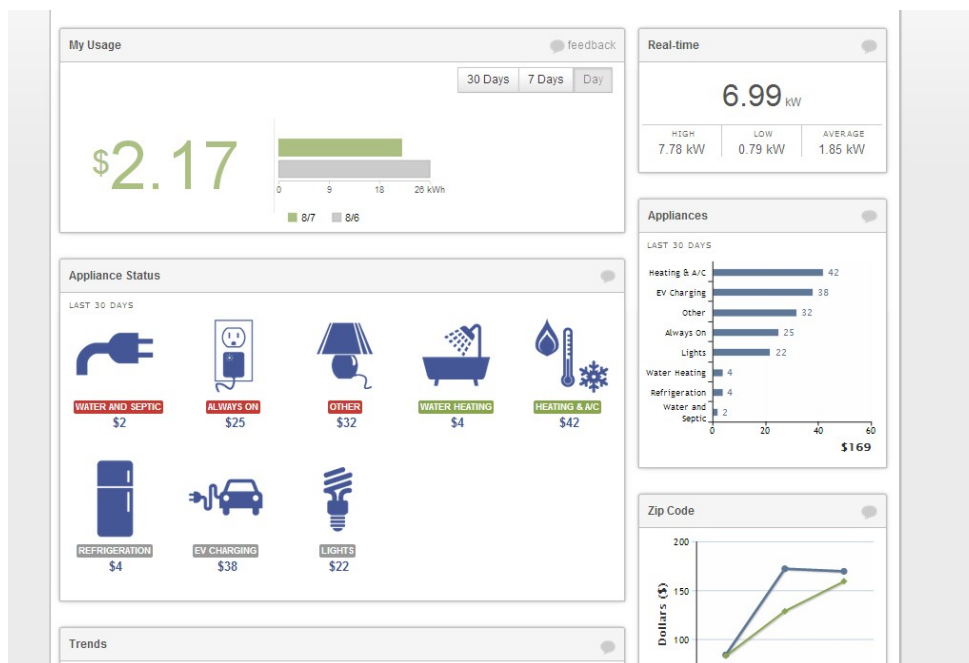


Figura 3.16: Ambiente gráfico da pagina web Plotwatt.

O PowerCost Monitor é *hardware* destinado à monitorização que apenas funciona em conjunto com alguns tipos de contadores elétricos (por exemplo os modelos CENTRON C2SOD, C1S da marca Itron, iCon da Sensus ou I-210 da GE, entre outros), uma vez que será instalado no próprio contador. Com esta solução é possível obter os consumos através de um contador de disco rotativo, utilizando o sensor ótico que irá monitorizar a sua frequência. Poderá também ser utilizado em alguns contadores elétricos mais recentes, digitais, sendo que o sensor irá captar a frequência do led presente [42].

O PowerCost Monitor é uma solução de baixo custo (89.87 dólares, 67.54 euros) [43], constituída pelo sensor ótico que transmitirá via *wireless* informação para um *Display*. Neste *Display* será também possível ter conhecimento de quanto uma determinada carga está a consumir, tendo apenas que desligar a carga para saber quanto ela estava a consumir até ao momento, ou por outro lado ligar a carga, para conseguir ver o seu consumo elétrico em tempo real. É ainda possível obter estes dados numa página web, mas para isso terá de ser adquirida uma PowerCost Monitor *Wi-Fi Gateway*, que terá um encargo adicional de aproximadamente 102 euros.

O equipamento de monitorização PowerCost da empresa Blue Line Innovations funciona com o software gratuito Plotwatt que permite uma monitorização muito mais detalhada do que a conseguida apenas com o *Display* incluído. Este *software* possui algoritmos avançados que permitem descobrir onde se pode reduzir nas despesas com a energia. É possível conseguir obter quanto se está a consumir em energia e dinheiro para cada equipamento dentro da habitação. O Plotwatt permite comparar os consumos expectáveis com os consumos efetivamente medidos para o próprio

dia, semana ou mês, quanto foi consumido nos últimos 30 dias por cada equipamento. Possibilita ainda a comparação de quanto é habitual consumir, ilustrando os resultados em gráficos, e ainda de ter conhecimento de qual o dia da semana que em média mais se consumiu num ano acompanhado pela média mensal e o total desse mesmo ano. O software Plotwatt funciona também com os aparelhos de monitorização TED-5000, WattVision, Current Cost e eGauge.

3.2.2.4 INTEL HEM Dashboard



Figura 3.17: Display interativo onde podem ser consultados os consumos e outras funcionalidades.

Esta solução permite monitorizar os consumos de toda a habitação e também de cargas individualmente utilizando um único sensor *wireless* de baixo custo e que pode ser conectado a qualquer tomada de casa. As cargas são distinguidas analisando as diferenças de medida de tensão. Estas medições de tensão são feitas durante as mudanças de estado das cargas, ou seja, aquando da ligação e desligação destas. A identificação das cargas e desagregação dos consumos é possível usando a FFT do ruído do sinal de tensão a alta frequência que já foi também abordado num ponto anterior. Os dados são enviados pelo sensor para um Display onde podem ser consultados os consumos e controlados diversos aparelhos [44].

3.2.2.5 Bidgely Software

O *software* Bidgely também é uma das soluções que possibilita receber dados de vários leitores de consumos energéticos, tais como o TED 5000, Wattvision, CurrentCost, Aizo/Digi, Youless entre outros. Futuramente este *software* poderá também receber informação de *smart meters* existentes nos Estados Unidos que farão *upload* dos dados para o *website*, mas para já esta funcionalidade não se encontra disponível. O Bidgely permite também à semelhança de alguns *softwares*

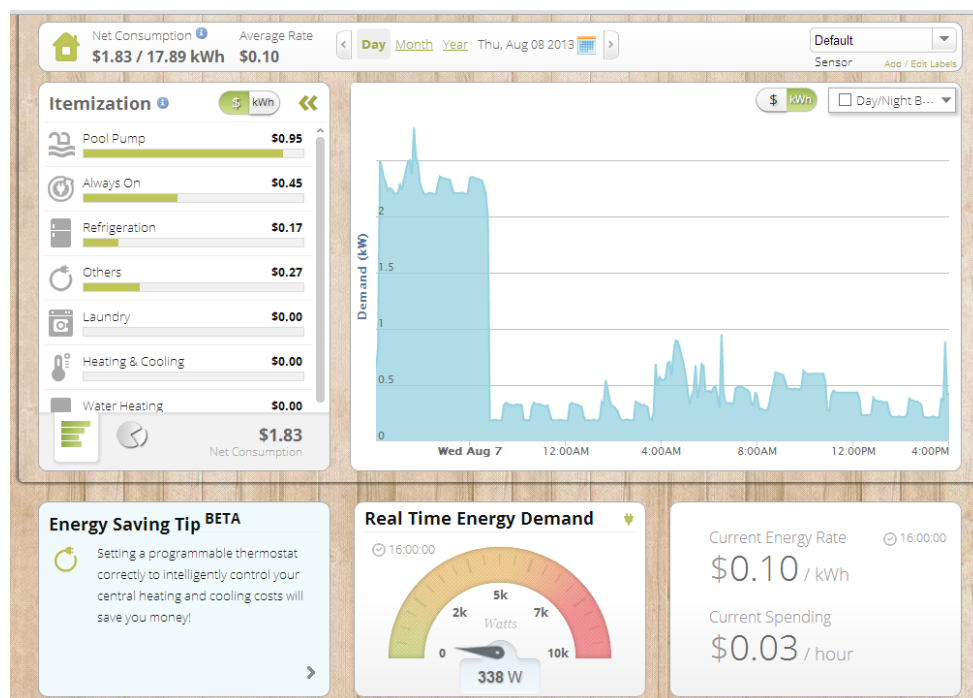


Figura 3.18: Ambiente gráfico do software Bidgely.

aqui abordados obter os dados de consumo elétrico em tempo real em conjunto com os custos associados, os consumos por equipamento começando pelos mais consumidores (frigoríficos, ar-condicionado), projeção mensal dos consumos e oferece ainda dicas para aumentar a eficiência energética [45].

3.2.2.6 Fludia

A empresa francesa de serviços energéticos possui também uma solução completa de monitorização consumos energéticos composto por uma unidade de medição o Fludiameter, um *software* de desagregação dos consumos energéticos denominado Beluso, uma plataforma de amostragem dos dados o FludiaNet permitindo também visualização dos dados em tempo real. A unidade de leitura é em tudo semelhante à do PowerCost, consistindo num sensor ótico instalado no próprio contador, com fácil instalação e sem necessidade de contratar um técnico especializado. Relativamente ao algoritmo presente no Beluso este analisa a curva elétrica dos consumos da habitação em conjunto com um pequeno inquérito. Com o *software* FludiaNet é possível obter gráficos, relatórios, alertas (num *smartphone*), descarregar dados e ferramentas de análise [46].

Capítulo 4

Questionário preliminar

Era objetivo desta dissertação a apresentação dos consumos desagregados dos alojamentos, mas por motivos vários, existiu um atraso na instalação dos equipamentos de monitorização havendo assim a necessidade de substituir estes resultados por um questionário preliminar.

O questionário preliminar realizado teve como objetivo obter mais informações sobre as habitações e tomar conhecimento sobre as formas de energia utilizadas e o modo como a energia é utilizada, assim como dos equipamentos presentes na habitação. Pretendeu-se ainda identificar desde logo possíveis áreas de intervenção para um aumento de eficiência energética que melhor poderão posteriormente ser corroboradas através de monitorização da habitação.

Com este questionário será possível fazer uma comparação correta entre as habitações, uma vez que, em teoria, os consumos encontrados para uma habitação em que reside um maior número de pessoas serão, na maior parte dos casos, superiores. Como é óbvio existirão também diferentes equipamentos. Identificar os tipos de sistemas utilizados para aquecimento de águas sanitárias ou aquecimento/ arrefecimento ambiente será também importante para melhor compreender os consumos e eficiência dos equipamentos presentes, e melhor garantir medidas de eficiência energética. O tipo de combustível utilizado na habitação será também um dado bastante importante, pelo grau de eficiência que estes podem trazer e as emissões a estes associadas, uma vez que não se pretende apenas reduzir custos, mas também se possível diminuir as emissões.

Teve-se em conta, neste questionário a necessidade de ser breve, para que seja respondido por todos os clientes e também que não seja acima de tudo maçador. Este questionário teve obrigatoriamente que ser o mais simples e menos técnico possível, para que possa ser respondido pelo cliente comum, sem que seja necessário conhecimentos de eletrotecnia.

Em suma, será possível através do questionário preliminar conseguir mais informações sobre a energia que é utilizada em cada habitação, estabelecer a estrutura do consumo de energia, confirmar os consumos por processo /equipamento ou detetar anomalias nestes, relacionar o consumo de energia com o nível de funcionamento previsto da instalação.

4.1 Perguntas que constituem o Questionário Preliminar

O Questionário Preliminar que se achou adequado realizar consta na Figura 4.1, onde podem ser observadas as perguntas que o constituem e as alternativas que se consideram adequadas e mais comuns no setor residencial.

4.1.1 Questão número 1

"Tipo de energia utilizada para AQS (Aquecimento águas sanitárias)"

Segundo o ICESD de 2010 para AQS é utilizado fundamentalmente o Esquentador, estando este presente em 78,6% dos alojamentos. Consta também que a utilização das caldeiras e termoacumuladores é 11,9% e 11,2%, respetivamente, em que 56,8% dos alojamentos que utilizam caldeira ligada ao sistema de aquecimento central. A fonte de energia mais utilizada nas caldeiras foi a biomassa, mas a principal fonte utilizada para AQS é o GPL garrafa ou Gás Natural.

É de extrema importância ter noção do tipo de energia utilizado para aquecimento de águas sanitárias para assim melhor se entender os consumos de combustível. Diferentes combustíveis possuem diferentes rendimentos, e por isso, consumos díspares. Acrescenta-se ainda que a poluição associada a cada combustível é diferente havendo assim interesse em saber qual o tipo de energia associado a AQS.

4.1.2 Questão número 2

"Sistema utilizado para AQS?"

Do sistema de AQS utilizado também se poderá tirar informações importantes, também elas associadas com o que se enunciou anteriormente. Com base no conhecimento do sistema utilizado e com base nos futuros resultados dos consumos será possível aferir os rendimentos dos aparelhos e ainda apoiar decisões para aumento da eficiência energética.

Pretende-se assim com as duas últimas questões comprar os resultados com os dados do ICESD e conseguir verificar as relações entre aquecimento das águas sanitárias e aquecimento ambiente.

4.1.3 Questão número 3

"Tipo de energia utilizada para aquecimento ambiente?"

Recorrendo novamente ao ICESD verifica-se que 78,3% das habitações utilizaram equipamentos para aquecimento ambiente no período de referência (outubro de 2009 a Setembro de 2010) em que o equipamento mais utilizado foi o aquecedor elétrico (61,2%). Importa assim tal como se referiu na pergunta 1 se referiu, conseguir uma comparação com os dados deste estudo e ainda a relação existente entre o aquecimento e aquecimento de águas sanitárias.

À semelhança do que foi enunciado para o tipo de energia utilizado para o AQS, também aqui é de considerável importância ter acesso a esta informação de modo a auxiliar na desagregação dos consumos. O aquecimento ambiente da habitação é um fator crucial para o conforto dos

ocupantes, sendo normalmente uma fonte de elevado consumo, por este motivo, é essencial saber a fonte utilizada para este fim, podendo também posteriormente, com base nestes dados, propor medidas de eficiência energética de modo a utilizar a melhor fonte.

4.1.4 Questão número 4

"Sistema utilizado para aquecimento ambiente"

Existem no mercado inúmeros sistemas dedicados ao aquecimento ambiente de habitações e que usam também os mais variados tipos de energia. Mais uma vez, com esta questão pretende-se também adquirir a mesma informação que a relacionado com o AQS.

4.1.5 Questão número 5

"Tipo de energia utilizada para arrefecimento ambiente"

A energia mais utilizada e destinada ao arrefecimento ambiente é a eletricidade, mas deu-se também a opção do gás, uma vez que existem alguns ar-condicionados que utilizam esta fonte de energia.

4.1.6 Questão número 6

"Sistema utilizado para arrefecimento ambiente"


Para o arrefecimento ambiente não existem tanta variedade de equipamentos utilizadas no setor residencial tal como para aquecimento ambiente. Todavia, pretende-se averiguar qual a tipologia de sistemas presentes nas habitações destinados a arrefecimento, para um melhor conhecimento e também para futuramente, quando se proceder à monitorização de consumos saber o tipo de sistemas a monitorizar.

O arrefecimento ambiente é também a menor fatia de utilização de energia no setor doméstico conforme se constatou através do ICESD.

4.1.7 Questão número 7

"Número de pessoas na habitação"

O número de pessoas que moram na habitação é um dado extremamente importante que, tal como foi anteriormente referido, irá afetar diretamente os consumos, que regra geral serão superiores com o aumento do número de habitantes.



AGÊNCIA DE ENERGIA DO SUL
DA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO

Questionário Preliminar

Nome: _____ N.º Contacto: _____

Morada: _____

1. Tipo de energia utilizada para AQS?

☐ Gás natural ☐ Gás butano ☐ Gasóleo ☐ Madeira/Pellets
☐ Gás propano ☐ Gás GPL ☐ Biomassa ☐ Eletricidade
☐ Eletricidade ☐ Outro _____

2. Sistema utilizado para AQS?

☐ Caldeira mural ☐ Esquentador ☐ Solar Térmico
☐ Termoacumulador ☐ Outro _____

3. Tipo de energia utilizada para aquecimento ambiente?

☐ Gás natural ☐ Gás butano ☐ Gasóleo ☐ Madeira/Pellets
☐ Gás propano ☐ Gás GPL ☐ Outro _____

4. Sistema utilizado para aquecimento ambiente?

☐ Chiller ☐ Bomba de calor ☐ Salamandra ☐ Recuperador de calor
☐ Ar-condicionado ☐ Caldeira ☐ Piso radiante ☐ Radiador Elétrico
☐ Bomba geotérmica ☐ Outro _____

5. Tipo de energia utilizada para arrefecimento ambiente?

☐ Eletricidade ☐ Gás ☐ Outro _____

6. Sistema utilizado para arrefecimento ambiente?

☐ Chiller ☐ Bomba de calor ☐ Bomba geotérmica
☐ Ar-condicionado ☐ Outro _____

7. Número de pessoas na habitação?

Obrigado!

Jorge Miguel Vidal Carvalho – Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Eng. Luís Filipe Caeiro Castanheira, Energaia

Figura 4.1: Questionário preliminar.

Capítulo 5

Equipamento utilizado

5.1 Electricidade

O ACE SL7000 é um contador de energia elétrica bastante confiável e orientado para aplicações comerciais e industriais, mas também poderá ser aplicado no sector residencial. O contador gera vários tipos de dados metrológicos que permitem a gravação múltipla de perfis de carga para aplicações tradicionais de facturamento. Com estes dados garante também a monitorização da qualidade da tensão e segurança da rede.



Figura 5.1: Armário do contador ACE SL7000.

O ACE SL7000 (Figura 5.1) permite a contagem de potência ativa, reativa e aparente, controlo da qualidade da tensão identificando cortes, sobretensões e abaixamentos de tensão e distorção harmónica.

Os sensores de corrente do contador são integralmente transformadores de condutância mútua que garantem uma boa operação e estabilidade com variações de temperatura. Os três sensores de corrente existentes geram um sinal por fase que é proporcional à corrente instantânea, enquanto os sinais de tensão resultam da divisão das tensões da linha de distribuição através de um divisor de resistência. Os sinais de tensão e corrente são amostrados 40 vezes por ciclo (50 Hz) por um conversor analógico-digital e de seguida processado por um microcontrolador do qual irão resultar os valores de energia. O contador pode armazenar até 16 canas para várias grandezas de base em dois perfis independentes até 148 dias uma das cargas e até 35 dias, a restante.

O próprio contador possui um ecrã LCD que permite visualizar os consumos instantâneos em qualquer altura. Será ainda possível criar perfis de consumo mensais, semanais e diários com diferentes tarifas. O contador ACE SL7000 possui várias saídas de comunicações, entre elas, GSM e GPRS, sendo assim possível o contador disponibilizar informação *online* pela porta de comunicação dedicada, conseguindo os utilizadores finais controlarem e monitorizarem o consumo energético.

Para se conseguir a transmissão dos dados, recorreu-se a um módulo GSM, modelo MAESTRO 100evo AD da MAESTRO, como se pode verificar na Figura 5.2. Este permite a troca de dados com sistemas remotos AMR (*Automatic Meter Reading*) e, o facto de este suportar tecnologias GSM e GPRS é uma vantagem pois permite seleccionar o melhor meio de comunicação para cada caso.

Por último, e semelhante ao que se mencionou anteriormente, é necessário um *software* que permita servir de interface com o utilizador capaz de mostrar os dados de consumos. Este *software* não consegue a desagregação dos dados, e servirá apenas como ferramenta de controlo de consumos e para receber os dados provenientes do contador. O ACE VISION, nome deste software, é um AMR (*automatic meter reading*) desenvolvido pela Itron orientado para a recolha de dados em parques industriais de média dimensão. O software permite que o utilizador receba por *email* ou por SMS mensagens de alarme enviadas pelos contadores. O utilizador pode ter acesso a dados como a potência instantânea, fator de potência, valor eficaz máximo e ângulo da fase em qualquer altura do dia, necessitando apenas do telemóvel. Os alarmes poderão ser criados pelo utilizador, ou então surgirão alarmes em caso de avaria.

O *software* permite obter gráficos 2D e 3D dos consumos, exportar dados em vários formatos e saber a potência ativa e reativa importadas e exportadas (em kW ou kvar). É também calculado o custo mensal, tendo em conta as várias taxas aplicáveis. O software permite ainda obter picos de consumo, aumentos ou quedas na tensão (qualidade da onda) e cortes.

5.2 Gás

De modo a conseguir obter-se os consumos de gás nas habitações, usaram-se contadores de gás da Itron de modelo Gallus (Figura 5.3). Trata-se de um contador bastante confiável e preciso, orientado para monitorização de consumos domésticos de gás natural, GPL (gás de petróleo liquefeito), propano, butano, nitrogénio e outros gases não corrosivos.



Figura 5.2: Módulo GSM da MAESTRO para transmissão de dados.

Este é um contador bastante robusto com alta proteção contra a corrosão, com um invólucro em aço, recorrendo a diafragmas sintéticos de alta duração em conjunto com um movimento de projeto comprovado combinados para garantir a excelente estabilidade e precisão durante toda a vida do contador.

Este aparelho de contagem vem já pré-equipado com a tecnologia Cyble, ou seja, existe facilidade em ser utilizada a gestão remota dos consumos. No sensor estão presentes três detetores que irão ler as variações de uma agulha presente no contador (Cyble Target, que se pode observar no canto superior direito do contador), que envia um sinal de alta frequência para este efeito. Este sinal mantém-se ativo sempre que exista fluxo, qualquer que seja o sentido. Existirá também um sinal de baixa frequência que será a multiplicação do sinal de alta frequência por uma constante ($K = 1/2,5/10/25/100/1000$). Este sinal tem em conta qualquer fluxo no sentido contrário.

5.3 Água

Para se conseguir a monitorização dos consumos de água, foi usado um contador de modelo Aquadis+ da Itron, um contador de água volumétrico de pistão rotativo, desenvolvido para o sector residencial, permitindo uma medição com elevada exatidão, qualidade e segurança (Figura 5.4). Trata-se de um contador bastante robusto que permite uma exatidão a longo prazo e uma garantia de fácil leitura permanente aliada a uma elevada eficiência. O Aquadis+ vem também pré-equipado com a tecnologia Cyble, permitindo que o contador seja integrado em sistemas de leitura remota através da adição dos respetivos módulos. Traz assim a vantagem de não ser necessário investimento adicional no contador que possibilite a leitura remota. A tecnologia Cyble permite a gestão de caudal de retorno e deteção de fugas.



Figura 5.3: Contador de gás Gallus da Itron.



Contador com sensor Cyble



Mostrador do contador onde se pode visualizar a Cyble Target

Figura 5.4: Contador de água Aquadis+ da Itron e respetivo mostrador com Cyble Target.

Foi então utilizado um sensor Cyble para possibilitar a monitorização remota da água, sendo de fácil instalação, devido ao que foi referido anteriormente, não sendo necessário partir ou desmantelar o selo ou a proteção do contador. O sensor permite uma elevada confiança, uma vez que não é possível ser influenciado por magnetismo exterior, foi desenhado para ambientes agressivos e não é sensível às vibrações dos tubos.

Capítulo 6

Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Desde 1972 que se começou a alertar para uma consciência ambiental orientada para um desenvolvimento sustentável. Vários têm sido os esforços e a vários níveis, muita legislação tem sido implementada com objetivos promissores e com metas cada vez mais ambiciosas para motivar os países a utilizar as mais recentes tecnologias com melhor eficiência e menor emissão de gases com efeito de estufa e ao mesmo tempo promover o desenvolvimento económico, sendo esta a definição de um desenvolvimento sustentável.

Verifica-se no nosso país que as emissões de GHG desde 1990 até ao ano 2005 foram aumentando até que a partir dessa altura se pode notar um visível decréscimo. Esta diminuição representa a entrada do gás natural canalizado, entrada das energias renováveis, implementação de centrais de ciclo combinado e cogeração em conjunto com a preocupação de aumentar a eficiência energética.

Uma elevada percentagem dos consumos em Portugal é referente aos edifícios (59%) uma vez que é no interior destes que passamos a maioria do tempo, sendo que a percentagem referente ao setor residencial é de 29%.

Com o Inquérito ao Consumo de Energia no Setor doméstico do ano 2010, pode verificar-se que existe alguma despreocupação com o isolamento das paredes exteriores, na cobertura ou até na utilização do vidro duplo. Este é um fator preocupante, uma vez que implica habitações ineficientes, existindo elevadas perdas térmicas ou ganhos térmicos prejudiciais ao bem-estar e elevando por consequência os consumos pela necessidade de mais aquecimento ou arrefecimento.

Fatores tais como a localização e forma do edifício, orientação e captação da energia solar e características construtivas são fatores muito importantes e a ter em conta desde a fase de projeto até à execução da obra de construção.

Nota-se que desde 1989 até 2010 existiu uma diminuição do consumo de lenha como combustível e por outro lado um elevado aumento no consumo de energia elétrica acompanhado por um considerável aumento no gás natural.

É na cozinha que existe uma maior concentração dos consumos muito devido a equipamentos de alto consumo, a maioria deles de consumo permanente, entre eles os equipamentos de frio (arcas congeladoras, frigoríficos com congelador). Não se pode também deixar de contabilizar

os pequenos eletrodomésticos, tais como torradeiras, micro-ondas que apesar de serem utilizados poucas vezes ao dia contribuem bastante para esta maior concentração de consumos.

Verificou-se que existem muitas características únicas de cada equipamento, capazes de funcionar como assinatura elétrica. Todos os estudos realizados conseguiram atingir precisões bastante aceitáveis e conseguem identificar equipamentos de várias categorias de funcionamento. Utilizam-se as alterações na potência ativa, reativa ou ambas no domínio das baixas frequências. Nas altas frequências foram estudados os harmónicos de corrente para eventos transitórios, para eventos estacionários e para aparelhos não lineares, transformada de Fourier do ruído do sinal de tensão, propriedades geométricas das curvas V_i e algoritmo de Sultanem.

O preço dos equipamentos de monitorização aumenta com o aumento da capacidade para ler, medir e controlar a energia da habitação e com o aumento de aparelhos alvo de monitorização. Nota-se também que as empresas se esforçam em criar um produto passível de ser instalado por um consumidor final, sem formação na área da energia, no menor tempo possível, tentando assim evitar-se a necessidade de chamar um técnico.

O questionário preliminar será bastante útil para extrair alguns dados importantes, por forma a saber os tipos de energia utilizados e quais os sistemas utilizados para aquecimento de águas sanitárias, aquecimento e arrefecimento ambiente, servindo de apoio também para as futuras medições. O equipamento a ser utilizado para a monitorização dos aparelhos elétricos e consumos de água e gás, são todos da marca Itron e não permitem a desagregação dos consumos tal como foi abordado anteriormente no capítulo 3. O equipamento de monitorização de eletricidade é orientado para o setor industrial conseguindo-se assim uma monitorização mais descritiva e com mais informação. Tanto o equipamento de monitorização de água como de gás são orientados para o setor residencial. Todos os aparelhos de monitorização descritos anteriormente são capazes de comunicar com um software que permitirá o acesso remoto aos dados.

Concluindo, a monitorização não intrusiva ainda necessita de algum tempo até conseguir atingir a maturidade espectral, principalmente em Portugal, uma vez que a maioria das publicações sobre este tema pertence ao MIT e universidades não portuguesas. Também todas as tecnologias que foram encontradas, todas elas se destinam a estados pertencentes à América e em geral apenas servem uma frequência de 60 Hz. A monitorização não intrusiva de cargas é um problema complexo que tem sido estudado ao longo dos últimos anos como foi demonstrado nesta dissertação. Não se encontra ainda no limite de desenvolvimento faltando ainda ser desenvolvida uma solução que contemple todas as quatro categorias (Máquinas consumo permanente, funcionamento On/Off, estado finito e consumo variável não periódico). Não existe também uma solução que permita a identificação de todos os utensílios elétricos sem que seja necessário um treino intensivo do algoritmo ou uma elevada interação com o utilizador.

Referências

- [1] Dr. Guy Midgely. "Kyoto Protocol". Disponível em http://www.enviropaedia.com/topic/default.php?topic_id=146, última vez acessado em 18 de julho de 2013.
- [2] "Kyoto protocol parties and 2012-2020 commitments". Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kyoto_protocol_parties_and_2012-2020_commitments.svg, última vez acessado em 18 de julho de 2013.
- [3] United Nations. "Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment". Em *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*, Stockholm 1972. Disponível em: <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503&l=en>.
- [4] United Nations. "Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future". Relatório técnico, 1987. Disponível em: http://conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf.
- [5] United Nations. "United Nations Conference on Environment and Development". Disponível em http://www.un.org/jsummit/html/basic_info/unced.html, última vez acessado em 15 de maio de 2013.
- [6] United Nations Framework Convention on Climate Change. "Kyoto Protocol Reference Manual". Disponível em http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf, última vez acessado em 15 de maio de 2013.
- [7] Parlamento Europeu. "Parlamento Europeu fecha pacote clima-energia: "três vintes" até 2020". Disponível em <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081216IPR44857+0+DOC+XML+V0//PT>, última vez acessado em 18 de julho de 2013.
- [8] United Nations Framework Convention on Climate Change. "Kyoto Protocol Status of Ratification". Disponível em http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf, última vez acessado em 18 de julho de 2013.
- [9] Quercus Ana Rita Antunes. "O nosso clima - portugal". Disponível em <http://www.ourclimate.eu/ourclimate/portugal.aspx>, última vez acessado em 18 de julho de 2013.
- [10] Presidência do Conselho de Ministros. "Resolução do Conselho de Ministros n.º104/2006". agosto 2006. Disponível em: <http://www.dre.pt/pdf1sdip/2006/08/16200/60426056.PDF>.

- [11] Transportes e Comunicações Ministério das Obras Públicas. "Decreto-lei n.º80/2006". abril 2006. Disponível em: http://www.pofc.qren.pt/ResourcesUser/Legislacao/20100504_RCM_29_2010.pdf.
- [12] Transportes e Comunicações Ministério das Obras Públicas. "Decreto-lei n.º79/2006". abril 2006. Disponível em: <http://dre.pt/pdf1sdip/2006/04/067A00/24162468.pdf>.
- [13] Energias de Portugal. "Iniciativas Nacionais". Disponível em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/iniciativas-nacionais>.
- [14] Assembleia da República e Presidência do Conselho de Ministros. "Resolução da Assembleia da República n.º 33/2010 e Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010". abril 2010. Disponível em: http://www.pofc.qren.pt/ResourcesUser/Legislacao/20100504_RCM_29_2010.pdf.
- [15] Presidência do Conselho de Ministros. "Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013". abril 2010. Disponível em: <http://dre.pt/pdf1sdip/2013/04/07000/0202202091.pdf>.
- [16] Instituto Nacional De Estatística e Direção Geral de Energia e Geologia. "Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010". Disponível em: http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=127228533&att_display=n&att_download=y.
- [17] G.W.Hart. "Nonintrusive Appliance Load Monitoring". *Proceedings of the IEEE*, Vol. 80:pp. 1870–1891, 1992.
- [18] K. Zeifman, M. Roth. "Nonintrusive Appliance Load Monitoring: Review and Outlook". *IEEE Trans. Consum. Electron.*, Vol. 57:76–84, 2011.
- [19] L. K. Norfold e S.B. Leed. "Non-intrusive electrical load monitoring in commercial buildings based on steady-state and transient load-detection algorithms". *Energy and Buildings*, Vol. 24:51–64, 1996.
- [20] A. Bouloutas, G. W. Hart, e M. Schwartz. "Two Extensions of the Viterbi Algorithm". *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 37:430–436, 1991.
- [21] G. W. Hart. "Correcting Dependent Errors in Sequences Generated by Finite-State Processes". *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 39:1249–1260, 1993.
- [22] L. Farinaccio e R. Zmeureanu. "Using a pattern recognition approach to disaggregate the total electricity consumption in a house into the major end-uses". *Energy and Buildings*, Vol. 30:245–259, 1999.
- [23] M. L. Marceau e R. Zmeureanu. "Nonintrusive Load Disaggregation Computer Program to Estimate the Energy Consumption of Major End Uses in Residential Buildings". *Energy Conversion and Management*, Vol. 41:1389–1403, 2000.
- [24] M. Baranski e J. Voss. "Non-intrusive Appliance Load Monitoring Based on an Optical Sensor". *EEE Power Tech Conference*, 2003.

- [25] M. Baranski e J. Voss. "Genetic Algorithm for Pattern Detection in NIALM Systems". *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, páginas 3462–3468, 2004.
- [26] M. Baranski e J. Voss. "Detecting Patterns of Appliances from Total Load Data Using a Dynamic Programming Approach". *Fourth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM'04)*, 2004.
- [27] et all C. Laughman. "Power Signature Analysis". *IEEE Power and Energy Magazine*, páginas 56–63, 2003.
- [28] W. Wichakool, Avestruz A.T, R. W. Cox, e S. B. Leeb. "Modeling and Estimating Current Harmonics of Variable Electronic Loads". *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 24:2803–2811, 2009.
- [29] et all K. D. Lee. "Estimation of Variable-Speed-Drive Power Consumption from Harmonic Content". *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 20:566–574, 2005.
- [30] S. R. Shaw, S. B. Leeb, L. K. Norfold, e R. W. Cox. "Nonintrusive Load Monitoring and Diagnostics in Power Systems". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 57:1445–1454, 2008.
- [31] D. Srinivasan, W. S. Ng, e A. C. Liew. "Neural-Network-Based Signature Recognition for Harmonic Source Identification". *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21:398–405, 2006.
- [32] M. Akbar e Z. A. Khan. "Modified Nonintrusive Appliance Load Monitoring for Nonlinear Devices". *IEEE*, 2007.
- [33] S. N. Patel e et all. "At the Flick of a Switch: detecting and classifying unique electrical events on the residential power line". *Conference on Ubiquitous Computing*, páginas 271–288, 2007.
- [34] S. Gupta, M. S. Reynolds, e S. N. Patel. "ElectriSense: Single-Point Sensing Using EMI for Electrical Event Detection and Classification in the Home". *Conference on Ubiquitous Computing*, páginas 139–148, 2010.
- [35] W. L. Chan, A. T. P. So, e L. L. Lai. "Harmonics Load Signature Recognition by Wavelets Transforms". *International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, páginas 666–671, 2000.
- [36] W. K. Lee, G. S. K. Fung, H. Y. Lam, F. H. Y. Chan, e M. Lucente. "Exploration on Load Signatures". *International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, página ref 725, 2004.
- [37] H. Y. Lam, G. S. K. Fung, e W. K. Lee. "A Novel Method to Construct Taxonomy of Electrical Appliances Based on Load Signatures". *IEEE Trans. Consumer Electron.*, Vol. 53:653–660, maio 2007.
- [38] J. Liang, S. K. K. Ng, G. Kendall, e J. W. M. Cheng. "Load Signature Study– Part i: Basic Concept, Structure, and Methodology". *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 25:551–560, 2010.
- [39] The Energy Detective. Disponível em <http://www.theenergydetective.com/>, última vez acedido em 2 de Setembro de 2013.

- [40] Powerhouse Dynamics. Disponível em <http://www.powerhousedynamics.com/>, última vez acessado em 2 de Setembro de 2013.
- [41] The Energy Circle. Disponível em <http://www.energycircle.com/shop/emonitor-energy-monitor-powerhouse-dynamics.html>, última vez acessado em 2 de Setembro de 2013.
- [42] PlotWatt. PowerCost Monitor. Disponível em <http://https://plotwatt.com/>, última vez acessado em 2 de Setembro de 2013.
- [43] Amazon. Preço do PowerCost Monitor. Disponível em http://www.amazon.com/Blue-Line-Innovations-BLI-28000/dp/B0028LS5GA/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1378091444&sr=8-1&keywords=power+cost+monitor, última vez acessado em 2 de Setembro de 2013.
- [44] A. Kamathan e W. G. Morsi. "A Survey on Home Energy Managemet and Monitoring Devices". *International Workshop on Real Time Measurement, Instrumentation and Control*, 2011.
- [45] Bidgely. Disponível em <http://www.bidgely.com>, última vez acessado em 2 de Setembro de 2013.
- [46] FLUDIA. Disponível em <http://www.fludia.com/>, última vez acessado em 2 de Setembro de 2013.